

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Virtuální uvádění do provozu řídicího systému na bázi  
programovatelného automatu**

**Virtual Commissioning of a Control System based on a  
Programmable Controller**

2020

Petr Synek

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Synek**

Studijní program: B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma: Virtuální uvádění do provozu řídicího systému na bázi  
programovatelného automatu  
Virtual Commissioning of a Control System based  
on a Programmable Controller

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Bakalářská práce se zabývá návrhem řídicí aplikace v programovatelném automatu pro vybraný strojní systém, jeho testování a zejména virtuální uvádění systému do provozu.  
Práce bude řešena ve spolupráci s firmou Elvac a.s.

1. Analýza možností návrhu, testování a virtuální uvádění do provozu řídicích systémů s využitím konceptu digitálního dvojčete.
2. Analýza vybraného systému z pohledu konstrukce a z pohledu řízení (konstrukční podklady a řídicí aplikace poskytnuty zadávající firmou).
3. Realizace virtuálního modelu vybraného systému s využitím nástroje NX Mechatronic Concept Designer.
4. Demonstrace možností virtuálního uvádění do provozu s využitím vytvořeného modelu.
5. Zhodnocení výsledků řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 5th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2013, 284 p. ISBN 978-3895783876.
- [2] Technická dokumentace k použitým systémům a SW Siemens.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 12. 5. 2020



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce a firmě ELVAC a.s. za poskytnuté materiály pro realizaci práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá virtuálním zprovozněním modelu reálného stroje (poskytnutého firmou ELVAC a.s.) a jeho testování v režimu simulace. V této práci byla provedena analýza návrhu, testování a virtuálního uvádění do provozu řídicích systémů. Využitý model se skládá z horního přípravku, dolního přípravku a konstrukce celého stroje. Horní a dolní přípravek obsahují pneumatické prvky řízené algoritmem v PLC, který byl psán v jazyku SCL. V této práci je popsáno vytvoření virtuálního modelu v prostředí Siemens NX MCD, přiřazení logiky modelu a napojení daných prvků na jednotlivé signály v TIA portálu.

## **Klíčová slova**

Digitální dvojče, virtuální uvádění do provozu, Siemens NX Mechatronics Concept Designer, Koncept Mechanického Designu, TIA portál, PLCSIM Advanced v2.0, jazyk SCL, Simatic S7 – 1500

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with virtual commissioning provided model of a real machine model (provided by the company ELVAC a.s) and his testing in the simulation mode. In this work, the analysis of design, testing and virtual commissioning of control systems were performed. The model used consists of an upper jig a lower jig and the construction of the entire machine. The upper and lower jig contain pneumatic elements controlled by an algorithm in PLC, which was written in the SCL language. This work describes the process of creating of a virtual model in the Siemens NX MCD environment, the assignment of model logic and the connection of the given elements to individual signals in the TIA portal.

## **Key words**

Digital twin, virtual commissioning, Siemens NX Mechatronics Concept Designer, Mechatronics Concept Designer, TIA portal, PLCSIM Advanced v2.0, SCL language, Simatic S7 – 1500

# Obsah

Úvod.....	13
1 Analýza možnosti návrhu, testování a virtuálního uvádění do provozu řídicích systémů s využitím konceptu digitálního dvojčete .....	14
1.1 Digitální dvojče .....	14
1.2 Princip virtuálního zprovoznění .....	14
1.3 Možnosti virtuálního zprovoznění.....	16
1.4 Siemens NX.....	16
1.5 Tecnomatix.....	17
1.6 Roboguide .....	18
2 Analýza vybraného systému.....	19
2.1 Analýza konstrukce .....	19
2.2 Analýza řízení modelu .....	22
2.2.1 Nastavení výchozí pozice dolního přípravku .....	22
2.2.2 Zajištění paletky se světlem.....	22
2.2.3 Aretace světla .....	22
2.2.4 Utěsnění otvorů světla .....	23
2.2.5 Tlakování světla .....	24
2.2.6 Přítomnost upevňovacích spon.....	24
2.2.7 Nastavení senzorů do pracovních pozic .....	24
2.2.8 Vyhodnocení přítomnosti spon.....	25
2.2.9 Návrat do výchozích pozic .....	25
2.3 Postup při realizaci .....	26
3 Realizace virtuálního modelu vybraného systému.....	28
3.1 Základní orientace v prostředí.....	28
3.2 Podrobné funkce MCD.....	29
3.2.1 Základní fyzika.....	29
3.2.2 Spoje a vazby.....	30
3.2.3 Pohony.....	30
3.2.4 Senzory.....	30

3.2.5	Signály.....	31
3.2.6	Signální připojení .....	31
3.2.7	Expresní blok.....	31
3.3	Definice pohybů a napojení na expresní bloky .....	32
3.3.1	Posuv pro utěsnění světla I.....	32
3.3.2	Posuv dolního přípravku .....	35
3.3.3	Levé uchopení paletky.....	36
3.3.4	Posuv pro ucpání světla .....	38
3.3.5	Posuv pro aretaci světla .....	38
3.3.6	Levé rameno pro snímač .....	39
3.3.7	Světlo.....	40
3.3.8	Senzor přítomnosti spony.....	41
4	Demonstrace možností virtuálního uvádění do provozu s využitím vytvořeného modelu .	42
4.1	Vytvoření konfigurace PLC .....	43
4.2	Nastavení PLCSIM Advanced .....	44
4.3	Import a mapování signálů .....	44
4.4	Vytvoření PLC programu.....	46
5	Závěr .....	49
	Použitá literatura .....	50
	Přílohy.....	51



## Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
<b>CAD</b>	Computer-Aided Design
<b>CNC</b>	Computer Numeric Control
<b>DD</b>	Digitální dvojče
<b>DP</b>	Dolní přípravek
<b>HP</b>	Horní přípravek
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>SCL</b>	Structured Control Language
<b>TPS</b>	Tool Path Simulate
<b>VNCK</b>	Virtual Numeric Control Kernel

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1:	Fáze při virtuálním zprovoznění [5].....	14
Obrázek 1.2:	Virtuální zprovoznění [4].....	15
Obrázek 1.3:	Shrnutí řešení od firmy Siemens [5].....	18
Obrázek 2.1:	Kostra stroje včetně konzolí pro uchycení dolního a horního přípravku.....	19
Obrázek 2.2:	Testované světlo s paletkou.....	20
Obrázek 2.3:	Příjezdové profily pro příjezd paletky.....	20
Obrázek 2.4:	Horní a dolní pneumatický válec.....	21
Obrázek 2.5:	Dolní přípravek.....	21
Obrázek 2.6:	Horní přípravek.....	21
Obrázek 2.7:	Nastavení výchozí pozice.....	22
Obrázek 2.8:	Úchop paletky pro zajištění.....	22
Obrázek 2.9:	Aretace vrchní části světla.....	23
Obrázek 2.10:	Ucpání světla z dolního přípravku.....	23
Obrázek 2.11:	Ucpání světla z horního přípravku.....	23
Obrázek 2.12:	Vysunutí přípravku pro tlakování.....	24
Obrázek 2.13:	Zobrazení spony.....	24
Obrázek 2.14:	Přisunutí snímače na pracovní polohu.....	25
Obrázek 2.15:	Levého senzoru pro sponu.....	25
Obrázek 2.16:	Senzory pro horní část světla.....	25
Obrázek 2.17:	Postup při realizaci.....	26
Obrázek 3.1:	Základní funkce NX MCD.....	28
Obrázek 3.2:	Typy kolizních tvarů.....	29
Obrázek 3.3:	Příklad expresního bloku.....	31
Obrázek 3.4:	Nedeformovatelné těleso – základna a připojení.....	32
Obrázek 3.5:	Zvolení základny a připojení pro pevný spoj.....	32
Obrázek 3.6:	Zvolení základny a připojení pro kluzný spoj.....	33
Obrázek 3.7:	Přiřazení pohonu na kluzný spoj.....	33
Obrázek 3.8:	Znázornění expresního bloku z pohledu MCD.....	34
Obrázek 3.9:	Funkce výstup pos_goal.....	34
Obrázek 3.10:	Funkce pro pozici atP.....	35
Obrázek 3.11:	Označení jako nedeformovatelná tělesa.....	35
Obrázek 3.12:	Přichycení stacionárního prvku.....	36
Obrázek 3.13:	Nedeformovatelná tělesa pro levé uchopení paletky.....	36
Obrázek 3.14:	Nastavení základny a připojení v otočném spoji.....	36
Obrázek 3.15:	Zvolení bodu ukotvení a vektoru osy pro otočný spoj.....	37
Obrázek 3.16:	Znázornění tří otočných spojů a jejich os otočení.....	37
Obrázek 3.17:	Nastavení počáteční hodnoty 8 mm pro uchopení.....	37
Obrázek 3.18:	Výsledné uchycení paletky z levé a pravé strany.....	38
Obrázek 3.19:	Určení vektoru pro kluzný spoj.....	38
Obrázek 3.20:	Prvek pro aretaci světla.....	39
Obrázek 3.21:	Určení otočných spojů.....	39
Obrázek 3.22:	Levé rameno pro snímač přítomnosti.....	40
Obrázek 3.23:	Zvolení nedeformovatelných těles.....	40

Obrázek 3.24:	Otočné spoje .....	40
Obrázek 3.25:	Senzor kolize.....	41
Obrázek 3.26:	Snímaná spona .....	41
Obrázek 4.1:	Postup při virtuálním uvádění do provozu .....	42
Obrázek 4.2:	Popis komunikace mezi MCD a TIA portálem .....	43
Obrázek 4.3:	Hardwarová konfigurace PLC.....	43
Obrázek 4.4:	Vytvořená instance.....	44
Obrázek 4.5:	Tabulka značek.....	45
Obrázek 4.6:	Adaptér signálu .....	45
Obrázek 4.7:	Mapování signálu .....	46
Obrázek 4.8:	Aktuální stav ve watch tabulce.....	46
Obrázek 4.9:	Use case diagram pro Fáze Chyb [10].....	47
Obrázek 4.10:	Stavový diagram pro tester těsnosti světél .....	48

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Tabulka řízených prvků.....	27
Tabulka 3.1: Popis signálů v expresním bloku.....	34

# Úvod

Bakalářská práce se zabývá analýzou možností softwarů pro virtuální zprovoznění a postup při virtuálním uvedení do provozu za pomoci programu Siemens NX modulu Mechatronics Concept Designer. Jako podklad je využit model od firmy *ELVAC a.s.* Tento 3D model obsahuje horní a dolní přípravek pro testování světla. Obsahuje testování těsnosti a testování přítomnosti spon. Cílem je virtuální zprovoznění poskytnutého strojního systému a jeho řízení programovatelným automatem. Dalším důvodem je použití pro virtuální realitu, kdy zákazník tento stroj může vidět v měřítku 1:1 ještě v době, kdy není vyroben. Pokud je digitální dvojče zpracováno, ladění reálného stroje obnáší jen zlomek času než v případě, kdy by toto digitální dvojče neexistovalo.

Výstupem práce je zprovozněný stroj, který je připraven pro použití v průmyslu a imituje chování reálného stroje.

V první kapitole jsou vysvětleny pojmy digitálního dvojčete a možnosti zprovoznění za využití softwarů od výrobců Siemens nebo FANUC.

Druhá kapitola se věnuje analýze poskytnutého modelu pro základní orientaci, vysvětlením funkcí jednotlivých prvků v testeru těsnosti.

Třetí kapitola obsahuje vysvětlení jednotlivých částí programu Siemens NX. Dále vlastní přiřazování vlastností modelu a pohyby prvků pro manuální řízení.

Ve čtvrté kapitole je část pro virtuální uvádění do provozu s využitím TIA portálu, PLCSIM Advanced a Siemens NX. Bylo zvoleno virtuální PLC S7-1500. Video se nachází v příloze.

# 1 Analýza možnosti návrhu, testování a virtuálního uvádění do provozu řídicích systémů s využitím konceptu digitálního dvojčete

Bakalářská práce se zaměřuje na virtuální uvedení do provozu stroje, který je řízený programovatelným automatem.

## 1.1 Digitální dvojče

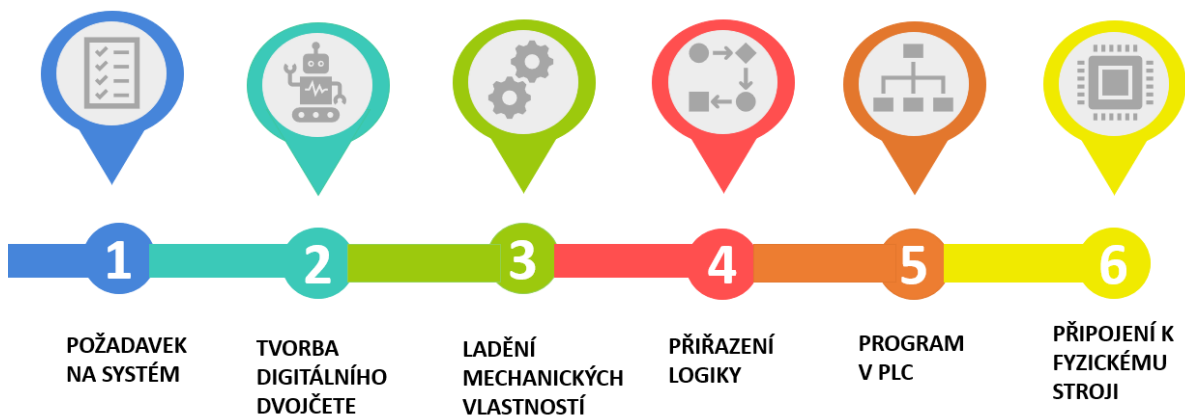
Digitální dvojče je virtuální model strojů, řídicích prvků, procesů a pracovních postupů společnosti. Princip digitálního dvojčete (DD), spočívá v přenesení reálného zařízení (stroje) do digitální podoby včetně všech vlastností, které má zařízení v reálném životě. Pokud na takto vytvořený model využijeme vhodný software, můžeme celý model (zařízení) testovat a zkoušet různé konfigurace, které mohou usnadnit výrobu nebo předejít výrobním chybám, kvůli kterým by bylo nutné část stroje vyrobit znovu [3].

Digitální dvojče poskytuje informace o [4]:

- Konstrukci
- Elektroinstalaci / elektronice
- Softwaru
- Variantách
- Plánu výroby
- Automatizaci
- Jak byl stroj navržen
- Jak bude udržován a opravován

## 1.2 Princip virtuálního zprovoznění

Při virtuálním zprovoznění se propojí digitální model výrobního zařízení s reálným řídicím systémem.



Obrázek 1.1: Fáze při virtuálním zprovoznění [5]

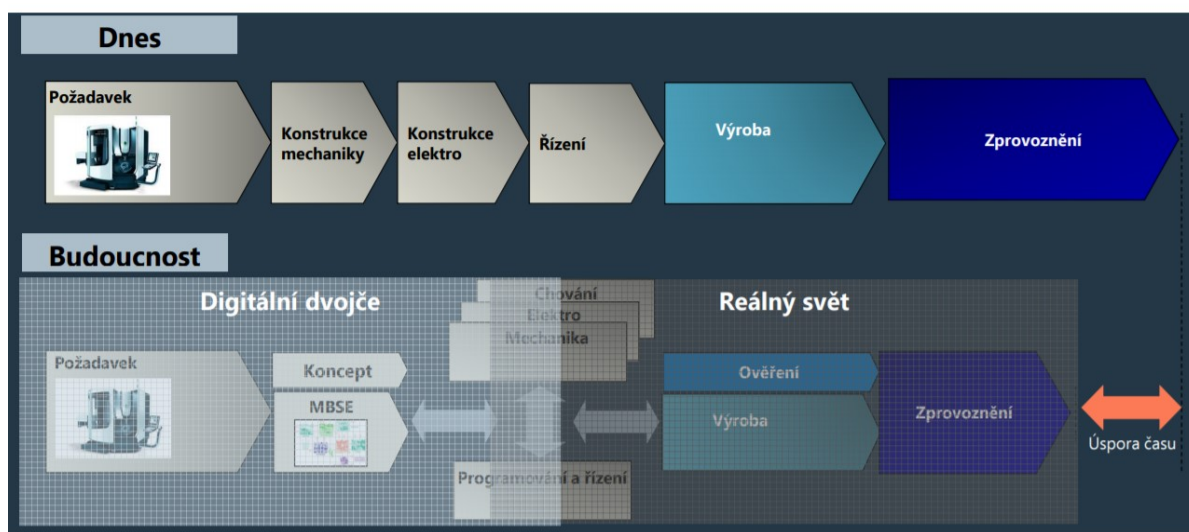
Nejprve proces začíná požadavkem, co by daný systém měl dělat. Jedná se o popis základní funkce. Poté se vytvoří digitální koncept výrobního systému, po odsouhlasení zadavatelem se digitální model rozpracuje a vznikne podrobný 3D model zařízení. Tento model vznikne modelováním jednotlivých součástí a složením dohromady.

V další fázi je nutné ladit a simulovat mechanické vlastnosti systému. Při tomto procesu jsou daným součástí stroje, přiřazeny reálné fyzikální vlastnosti. Mohou to být prvky nedeformovatelných těles, kolizních součástí, kolizních senzorů apod. Poté se přiřadí 3D modelu spoje, aby bylo jasné, co je spojeno. Následně modelu přiřadíme pohon. Pohon je k přesnému určení směru pohybu. V posledním kroku se využije editoru sekvencí, kde daným pohonům můžeme přiřadit operace, po kterých se stroj bude schopný hýbat. Na tomto modelu už nyní můžeme simulovat různé vlivy prostředí, a v případě kolizí stroj upravit.

V dalším kroku probíhá přiřazení logiky k jednotlivým prostředkům, přidání signálů, které jsou nutné pro řízení již konkrétním řídicím systémem.

Pomocí vstupů a výstupů do PLC se vytvoří program, který se bude chovat stejně jako proces simulace na digitálním dvojčeti. Proběhne ladění programu, které obsahuje různé scénáře chování systému, do kterých se systém může dostat.

Poslední fází zpracování dané úlohy je připojení k reálnému zařízení. Výroba tohoto stroje probíhala zároveň v dobu programování digitálního dvojčete. Tato fáze je díky virtuálnímu zprovoznění kratší, protože zprovoznění proběhne pouze přehráním programu do PLC [5].



Obrázek 1.2: Virtuální zprovoznění [4]

Na obrázku 1.2 lze vidět, porovnání běžného zprovoznění a zavedení nového systému při dosavadním využití znalostí, a při využití DD. Hlavní rozdíl je v úspoře času a možnosti dané procesy opět vrátit a tím se vyhnout nepodařeným výrobkům. Dále je vidět, že pokud již máme digitální dvojče, tak profese mohou pracovat paralelně a nemusí na sebe čekat. Ovšem pokud je nutné náhle změnit požadavek je to možné. Další výhodou je ověření funkčnosti digitálního dvojčete, než bude vyrobeno.

### 1.3 Možnosti virtuálního zprovoznění

V současné době existují programy pro tvorbu stroje, který již lze simulovat ve virtuálním prostředí. Cílem je vytvořit digitální dvojče reálného stroje, které má stejné vlastnosti jako v reálném světě.

### 1.4 Siemens NX

Software od firmy Siemens. Obsahuje moduly, mezi kterými lze navzájem přepínat. Jedná se o CAD software s možností virtuálního zprovoznění.

Obsahuje tyto moduly:

- Výkres
- Modelování
- Montáž
- Simulace
- Obrábění
- Koncept mechatronického designu

#### Výkresy a dokumentace

Slouží k tvorbě výkresu, pro strojní nebo elektro užití. Využívá již přednastavených šablon včetně předvyplněného rohového razítka.

#### Modelování

V tomto modulu je možné vymodelovat danou součást, nebo jednoduchý stroj pomocí základních funkcí a pak je vysunout pro 3D model. Určeno pro jednoduché komponenty komplexního stroje.

#### Montáž

Pokud máme vytvořeny již základní prvky stroje, v modulu montáž je lze k sobě poskládat. Je to přesný nástroj, který využívá přiřazení dotykových ploch. Po vytvoření takových spojů okamžitě proběhne montáž, při které se mohou komponenty různě natáčet apod.

#### Simulace

Obsahuje tři úrovně simulace. Tool Path Simulate (TPS) tato úroveň je základní a slouží k simulování celého pohybu stroje především k ověření funkčnosti generované dráhy z pohledu kinematiky stroje. Další úroveň je simulace řízená pohony. Rozšíření vlivu samotného pohonu stroje o řídicí ovladač simulátoru. Poslední úroveň se nazývá Virtual NC Kernel simulace (VNCK), která je řízena virtuálním systémem Sinumerik. Odbavuje NC kód (kód generovaný konkrétním postprocesorem), jako tomu je při skutečném procesu řízení CNC stroje. Využívá se hlavně v odvětví obrábění a při návrhu CNC strojů [1].

#### Obrábění

Mezi hlavní funkce tohoto modulu patří [1]:

- Soustružení
- 3osé frézování
- Obrábění turbín



### **Koncept mechatronického designu (MCD – Mechatronics Concept Designer)**

Model již vytvořený v modulu *modelování* a složený v prostředí *montáž* lze simulovat. Pro tuto funkci je nutno modelu přiřadit základní fyzikální vlastnosti. Dále se pokračuje přidáním spojů (pevný/kluzný apod). Poté se prvkům přiřadí materiály, ze kterých budou vyrobeny. Po přiřazení pohonů, kde určíme, kterým směrem se bude stroj hýbat, lze přejít do editoru sekvencí, kde při zvolení daného pohonu můžeme vytvořit akci a zvolit si její trvání. V tuto chvíli můžeme sledovat simulaci stroje s časovým měřítkem 1:1. S vhodným využitím ovladačů, lze tuto simulaci sledovat ve virtuální realitě.

V dalším kroku pro řízení takto vytvořeného modelu, určit "runtime parametry". Jedná se o parametry, které mohou být nastaveny na danou hodnotu při simulaci.

V posledním kroku se propojí proměnné z PLC s runtime parametry, toto spojení je možné v aplikaci PLCSIM Advanced nebo SIMIT. Po vytvoření instance je možné ovládat 3D model v MCD přes watch tabulku nebo přímo daným programem.

V tomto tomto modul je vhodný pro simulaci jednoúčelových strojů, pro specifické vlastnosti, tento modul obsahuje prvky jako gravitaci, kterou simulace zohledňuje.

## **1.5 Tecnomatix**

Software od firmy Siemens. Tento software se zabývá komplexnějšími prvky, pro řízení celé továrny. Cílem tohoto softwaru je komplexní a systémové plánování, projektování, ověřování a průběžné zlepšování všech důležitých struktur, procesů a zdrojů reálné továrny v souvislosti s jejími výrobky. Díky přesnému digitálnímu modelování, simulacím a 3D vizualizaci všichni ti, kteří spolupracují během vývoje mohou vizualizovat a analyzovat budoucí výrobní procesy. Omezí se tak chyby, které by se jinak objevily až při náběhu výroby.

Vhodné moduly pro virtuální zprovoznění v tecnomatixu:

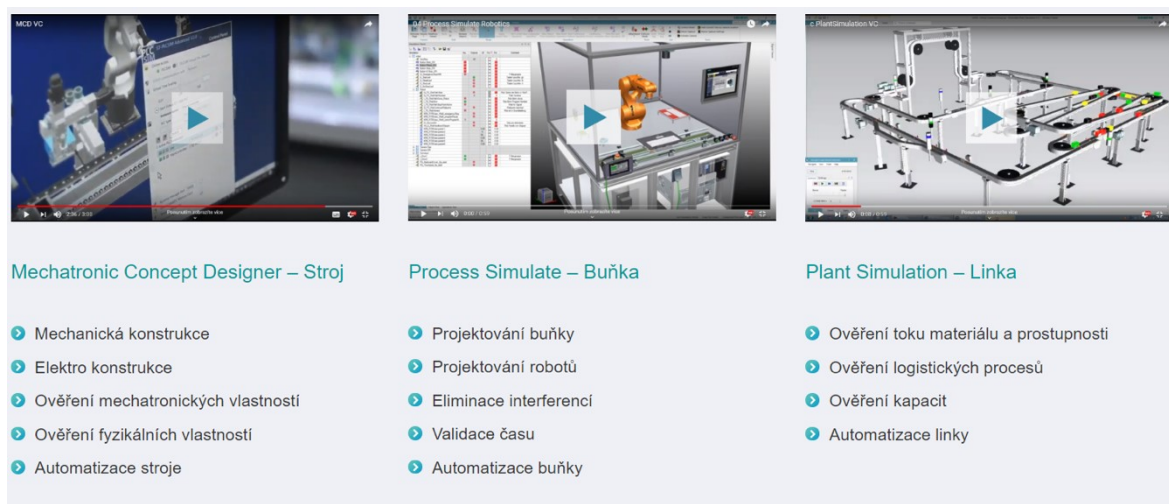
- Plant Simulation
- Process Simulate Robotics

### **Plant Simulation**

Jedná se o nástroj pro simulaci a testování celé továrny. Probíhá to vytvořením digitálního modelu logického systému velice blízkého reálnému chování. Pro takto zvolenou digitální továrnu, lze simulovat různé typy alternativy při návrhu výrobní linky. Dokáže reagovat na různé změny, které vedou ke zkvalitnění a zrychlení návrhu linky [6].

### **Process Simulation Robotics**

Digitální simulační řešení pro ověření výrobního procesu s využitím robotů. Off-line programování a simulace z pohledu celé výrobní linky. Dokáže optimalizovat trajektorii robotů při pohybu [7].



Obrázek 1.3: *Shrnutí řešení od firmy Siemens [5]*

Jak je patrné, každý produkt od firmy Siemens má při vývoji své místo. MCD se zabývá simulací stroje, Process Simulate simulací jedné pracovní buňky a Plant Simulation celé provozní linky.

## 1.6 Roboguide

Software od firmy Fanuc pro operace a simulace s roboty. Již v základní verzi obsahuje knihovnu, která obsahuje všechny FANUC roboty, stroje a jednoduché nástroje. Využívá simulace a ověřování detailů procesu jako například pohyb, ověření délky cyklu, detekce a vyhnutí kolizím. Pro konfiguraci celé linky, nebo jen jednotlivého stroje lze buňky navrhovat, testovat a upravovat v režimu off-line. Výhodou je snadné ovládání a možnost přidat funkce, které zvýší efektivitu [9].

- **WeldPRO** – simulace procesu robotického svařování v 3D
- **PaintPRO** – simulace cest a vývoj lakovacího procesu, funkce pro přemístění lakovací pistole, velikost rozprášení, rychlost nátěru a načasování spouště pistole

Pro potřeby zprovoznění jednoduchého a jednoúčelového stroje byl vybrán software Siemens NX a pro fázi zprovoznění modul MCD.

## 2 Analýza vybraného systému

Tato část se věnuje analýze systému dodaného od firmy ELVAC a.s., popis z hlediska provedení, konstrukce a základní funkčnosti. Tento stroj nebude popsán podrobně ale pouze nutné prvky, které se dále využijí pro simulaci a řízení.

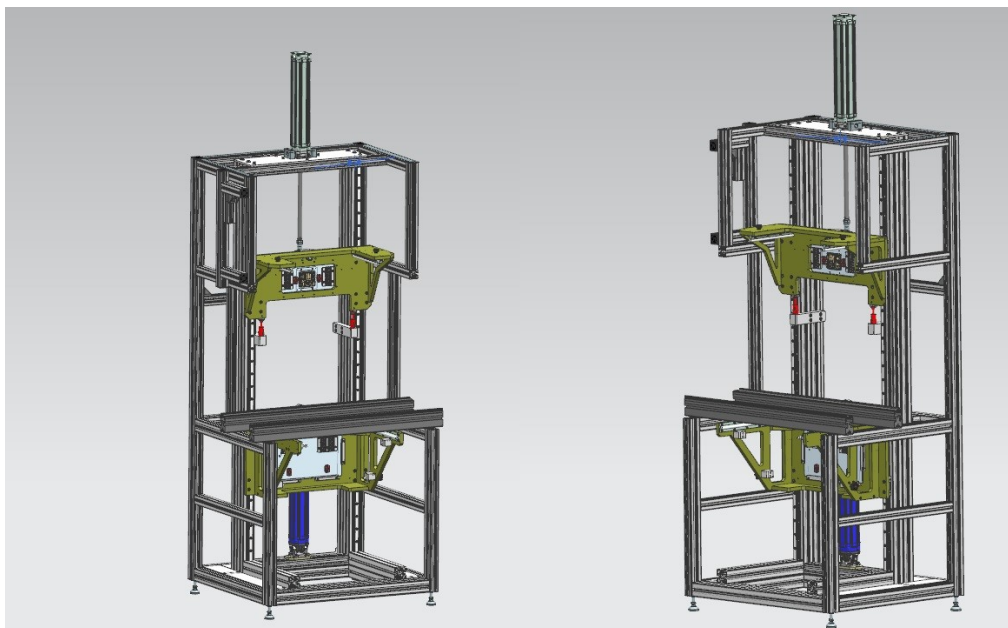
### 2.1 Analýza konstrukce

Poskytnutý model slouží k testování těsnosti světél. Skládá se ze základních prvků:

- Kostra stroje
- Paletka se světlem
- Příjezdové profily
- Pneumatické válce pro posuv testovacích přípravků
- Dolní přípravek
- Horní přípravek

#### Kostra stroje

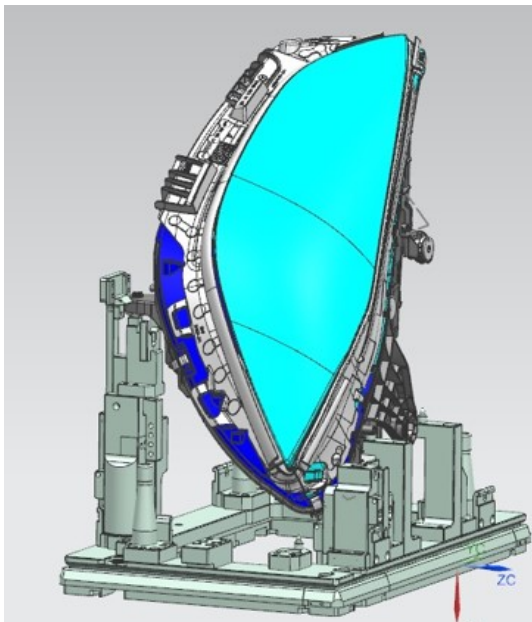
Obsahuje základní konstrukční prvky pro umístění do montážní linky. Ke konstrukci jsou připevněny další části stroje.



Obrázek 2.1: Kostra stroje včetně konzolí pro uchycení dolního a horního přípravku

#### Paletka se světlem

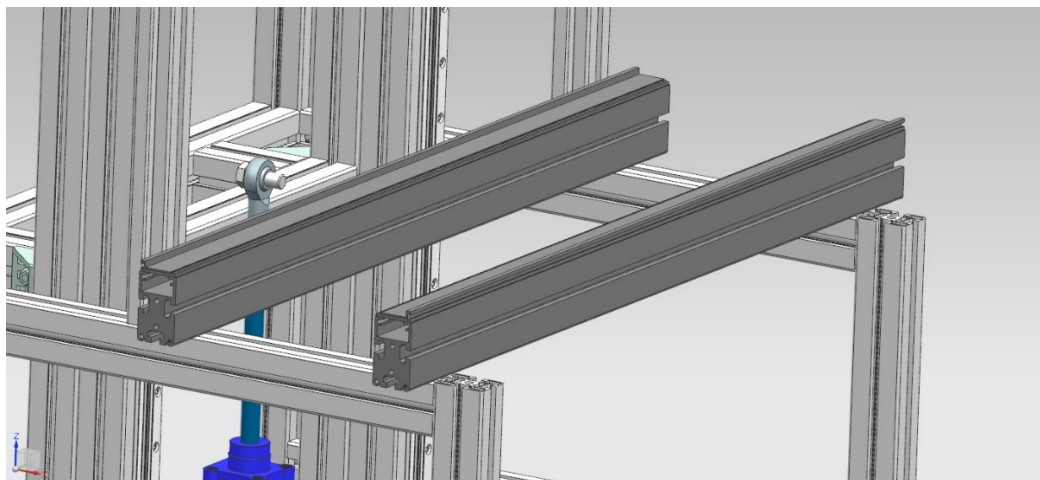
Normalizovaná paletka, určena pro přepravu světla mezi jednotlivými stanovišti montážní linky. K této paletce je vhodně připevněno světlo, aby byl umožněn přístup pro všechny nutné prvky. Světlo obsahuje spony, které jsou nutné k jeho správné funkci.



Obrázek 2.2: *Testované světlo s paletkou*

### **Příjezdové profily**

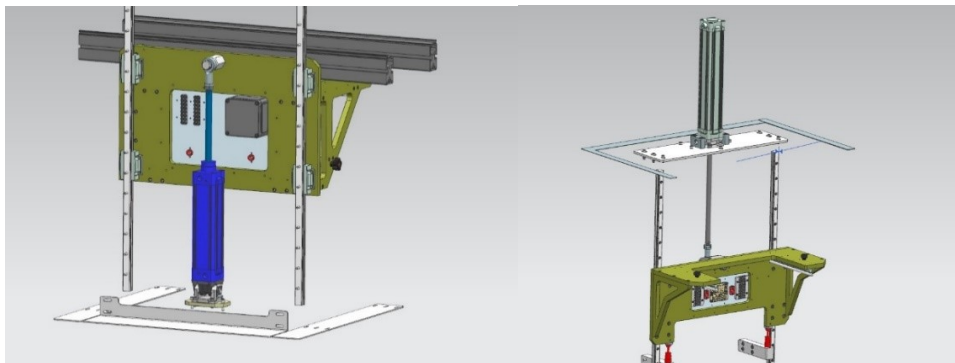
K přepravě paletky se světla po příjezdové lince.



Obrázek 2.3: *Příjezdové profily pro příjezd paletky*

### **Pneumatické válce pro posuv testovacích přípravků**

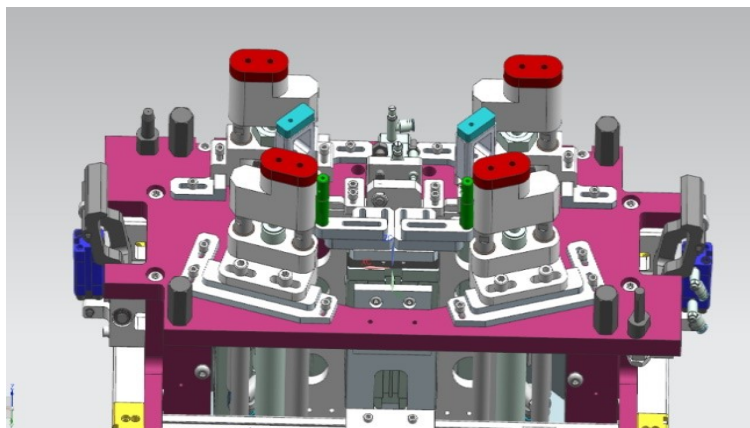
V rámci testování je možno zvolit, kterým přípravkem budeme testovat a je nutné s nimi vertikálně hýbat, aby po otestování mohlo světlo pokračovat dále v testování. K jednotlivému válci je připevněna masivní konstrukce s daným přípravkem. Tato konstrukce se pohybuje po drážkovaných profilech.



Obrázek 2.4: *Horní a dolní pneumatický válec*

### **Dolní přípravek**

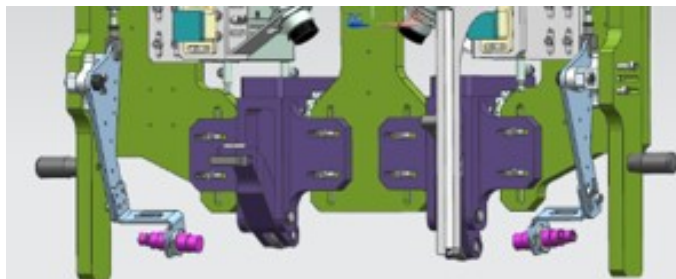
Obsahuje část pro zajištění paletky, která po přijetí na dané místo upevní paletku, aby nebyl možný posuv. Dále je obsažena část pro ucpání možných těsnících otvorů světla – konektor a goretexové membrány. Pro kontrolu těsnosti vzduchu je připraven plnicí a měřící okruh.



Obrázek 2.5: *Dolní přípravek*

### **Horní přípravek**

Na něm jsou umístěné senzory pro kontrolu přítomnosti sponek (růžové). Ke všem sponám není snadný přístup, proto jsou speciální senzory připevněny k malým pneumatickým válcům s otočným pohybem. Tento pohyb dostane senzory do požadovaného místa.



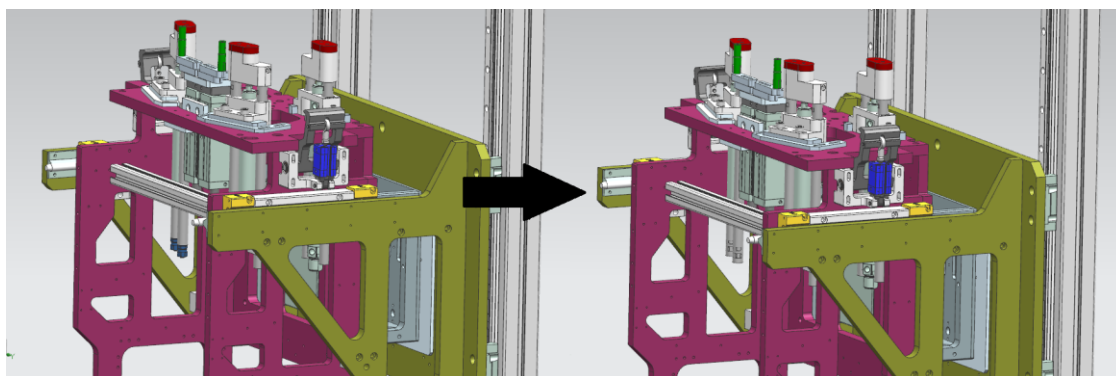
Obrázek 2.6: *Horní přípravek*

## 2.2 Analýza řízení modelu

Z důvodu složitosti zadaného 3D modelu jsou nepotřebné pneumatické válce a jejich komponenty, které není nutné simulovat vypnuty. Tyto komponenty model obsahuje ale nejsou dále viditelné. Také nejsou viditelné šrouby, matice a další konstrukční prvky, které není potřeba simulovat. Dále není viditelná konstrukce paletky pro světlo z důvodu zpřehlednění simulace.

### 2.2.1 Nastavení výchozí pozice dolního přípravku

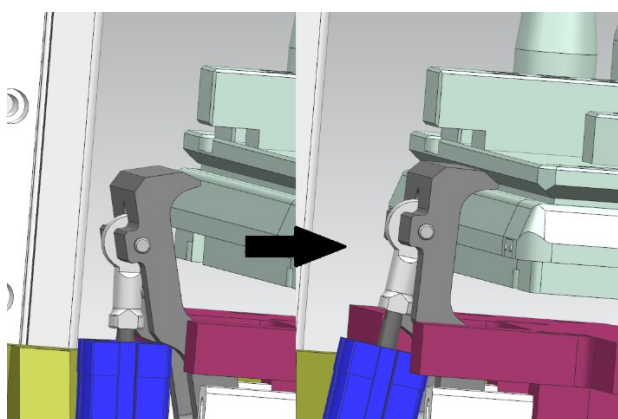
Po zapnutí programu v prvním kroku dolní přípravek přijede na pracovní pozici. Tento pohyb bude obsluhován pneumatickým válcem, který je umístěný na konstrukci stroje a pohyb bude veden po profílech ke kterým je celý přípravek uchycen. Posuv na tuto pozici je pouze o 15 mm, je tedy nepatrný.



Obrázek 2.7: *Nastavení výchozí pozice*

### 2.2.2 Zajištění paletky se světlem

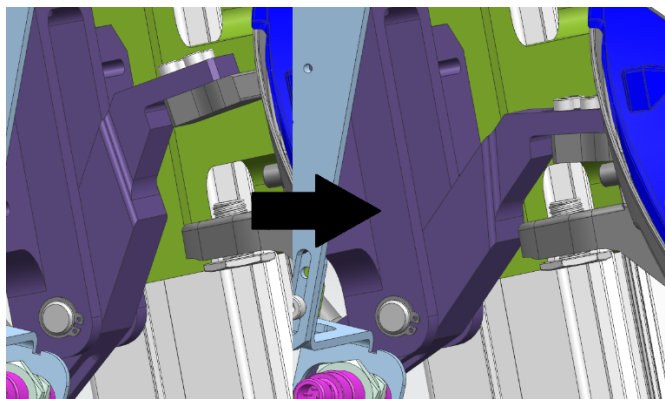
V dalším kroku dojde k zajištění paletky, aby nedošlo k jejímu pohybu. Tento úchop je nutné provést na obou stranách.



Obrázek 2.8: *Úchop paletky pro zajištění*

### 2.2.3 Aretace světla

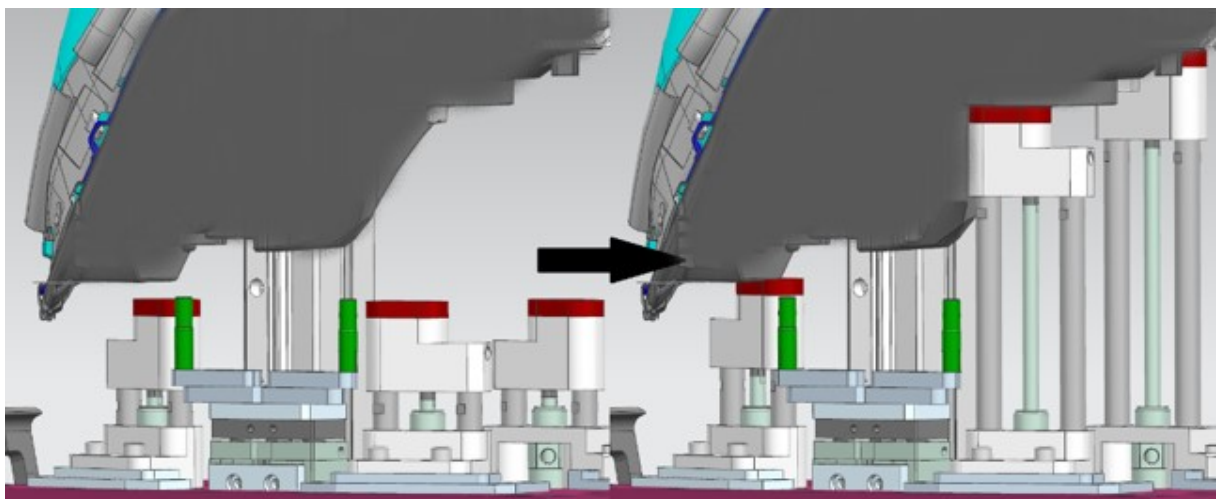
Následuje aretace světla i z vrchní strany. Toto obsluhuje horní přípravek. Aretace je pouze na válcové části světla.



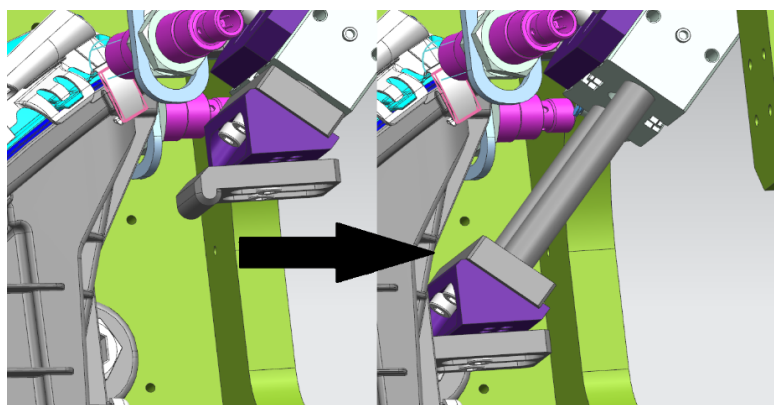
Obrázek 2.9: *Aretace vrchní části světla*

### 2.2.4 Utěsnění otvorů světla

Pro testování těsnosti světla je nutné otvory světla utěsnit. Toto je obsluhováno pneumatickými válci, které mají na sobě goretexové podložky. Nejprve se utěsní válce z dolního přípravku a následně z horního přípravku.



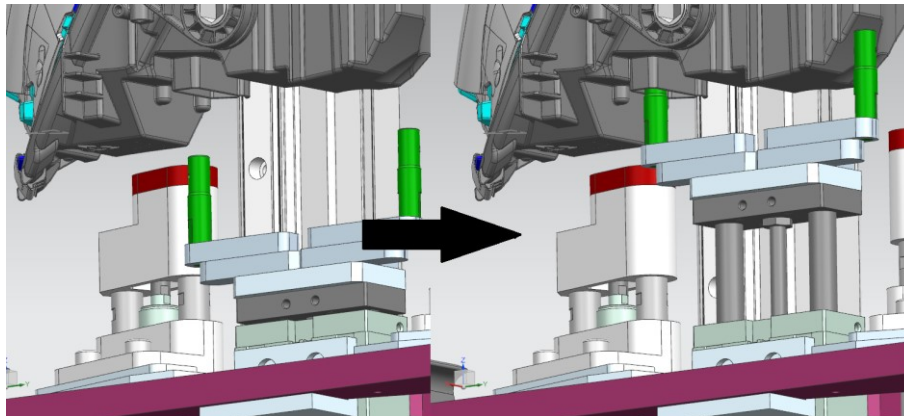
Obrázek 2.10: *Ucpání světla z dolního přípravku*



Obrázek 2.11: *Ucpání světla z horního přípravku*

### 2.2.5 Tlakování světla

K tlakování je použit výsuvný pneumatický válec, který tlakuje světlo z části pro konektor. Ovšem prostředí NX MCD nenabízí možnost zpracování tlaku a zjištění, zda je světlo skutečně těsné. Tedy bude pouze vysunut pneumatický válec.

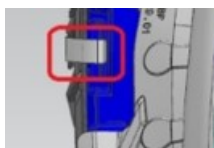


Obrázek 2.12: *Vysunutí přípravku pro tlakování*

V této fázi přichází měření úniku tlaku a vyhodnocení, zda je světlo funkční a těsné. Toto nelze v prostředí NX MCD simulovat, tedy tato fáze bude vynechána. Následuje návrat přípravku pro tlakování, návrat ucpávačů z horního i z dolního přípravku na výchozí pozice.

### 2.2.6 Přítomnost upevňovacích spon

Pro kompletní otestování světla je nutné zjistit přítomnost upevňovacích spon. Spony jsou celkem čtyři. Proto je nutné využít čtyř snímačů. Prostřední NX MCD nedokáže spínat podle jednotlivých fyzikálních jevů. Pro tuto aplikaci je využit senzor kolize. Tomuto senzoru nastavíme kolizní předmět, na který snímač reaguje.

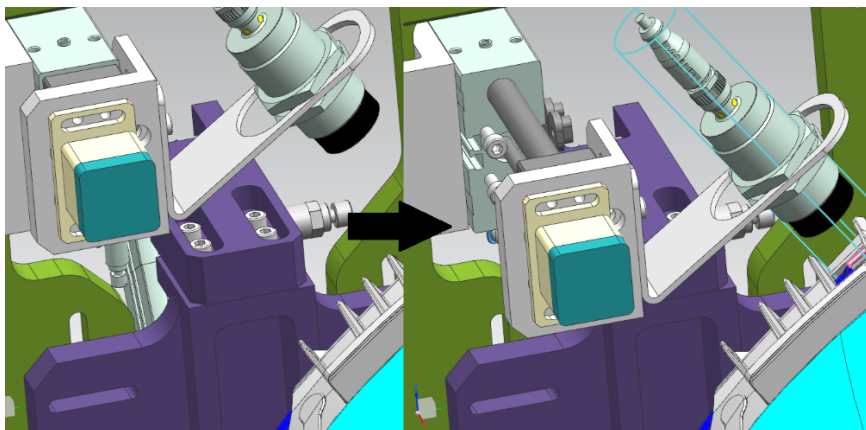


Obrázek 2.13: *Zobrazení spony*

### 2.2.7 Nastavení senzorů do pracovních pozic

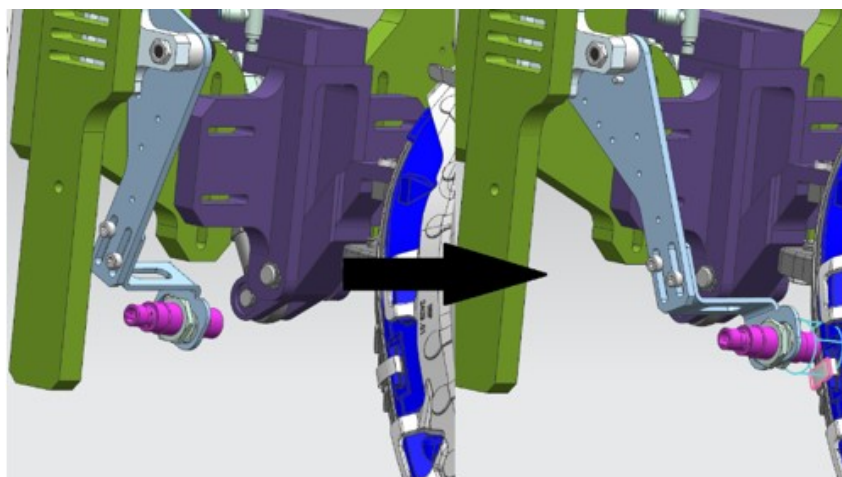
Dva senzory jsou vzdáleny od snímačů ve výchozích pozicích. Proto je nutno senzory přesunout na pracovní pozice. Jeden z nich se přisune pomocí pneumatického válce.





Obrázek 2.14: Přisunutí snímače na pracovní polohu

Další senzor je nutno přisunout opět s využitím pneumatického válce. Ovšem za využití kloubového spoje.



Obrázek 2.15: Levého senzoru pro sponu

### 2.2.8 Vyhodnocení přítomnosti spon

Pro tento účel je vybrán zmíněný senzor kolize. Zbývající dva senzory se nachází v horní části světla.



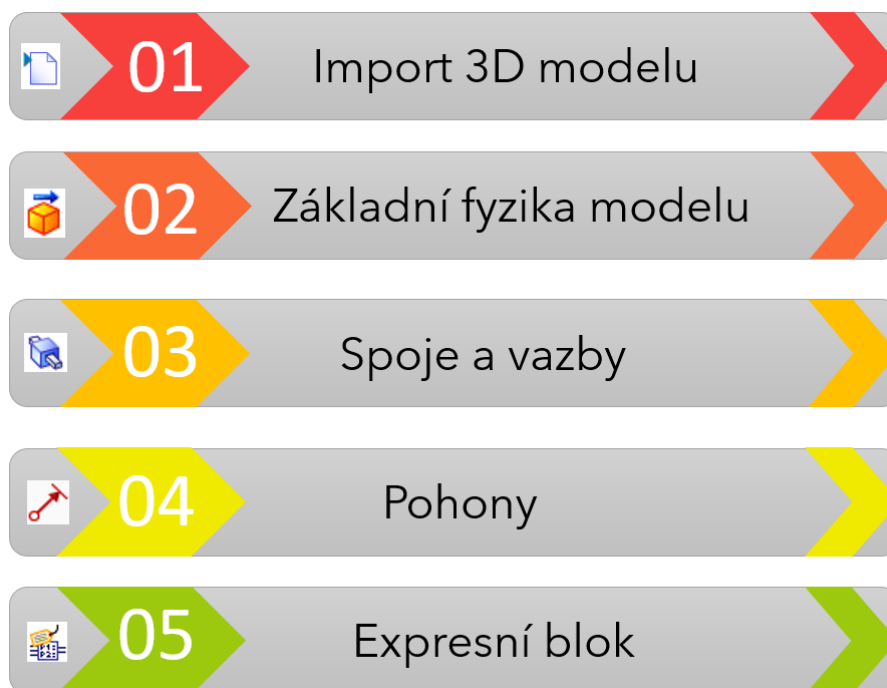
Obrázek 2.16: Senzory pro horní část světla

### 2.2.9 Návrat do výchozích pozic

V posledním kroku se posuvný senzor a senzor na kloubovém spoji přesune zpět na výchozí pozici. Na tuto pozici se přesunou i úchopy pro celou paletku (levý a pravý). Po vysunutí dolního přípravku na výchozí pozici je testování světla dokončeno.

## 2.3 Postup při realizaci

Postup při realizaci poskytnutého modelu:



Obrázek 2.17: *Postup při realizaci*

### Kroky při realizaci:

#### 1. Import 3D modelu

Při importu modelu je možné vybírat z mnoha dostupných souborů, které jsou vhodné pro 3D modelování. Zadaný model byl ve formátu step a byl v prostředí MCD konvertován na formát vhodný k simulaci.

#### 2. Základní fyzika modelu

Jakmile je model převeden do MCD je nutné části, které chceme simulovat označit jako *nedeformovatelné těleso*. V tomto případě jim je přiřazena základní fyzika. Po spuštění simulace vlivem gravitace začnou padat. Pro interakci s dalšími objekty jim přiřadíme možnost *kolizní těleso*.

#### 3. Spoje a vazby

Pro pevné spojení zvolíme objekty, které chceme, aby byly pevně spojeny. Jedná se o základnu a přípojně těleso. Je možné přiřadit i *kluzný* nebo *otočný spoj*, kde taktéž je nutné přiřadit základnu a připojení. V tomto kroku je možné hýbat s konstrukcí ručně.

#### 4. Pohony

Když chceme pohyb řídit je nutné mu přiřadit pohon, který jej bude ovládat. Máme na výběr *řízení umístění* nebo *řízení rychlosti*.

## 5. Expresní výrazy

Jedná se o blok, který má vstupy, výstupy a vnitřní parametry s funkcí. Po zvolení vstupů a výstupů je možné je snadno spojit s parametry z daných spojů nebo pohonů.

Pro zřehlednění úlohy je použita tabulka, která obsahuje výčet prvků, které je nutno řídit. Zkratka DP znamená Dolní Přípravek a podobně HP – Horní Přípravek.

Tabulka 2.1: Tabulka řízených prvků

Funkce	Umístění	Označení v MCD/TIA
Posuv pro utěsnění světla I.	DP	DP_valec_L1
Posuv pro utěsnění světla II.	DP	DP_valec_R1
Posuv pro utěsnění světla III.	DP	DP_valec_R2
Posuv dolního přípravku	DP	DP_main_posuv
Levé uchopení paletky	DP	DP_uchopeni_L
Pravé uchopení paletky	DP	DP_uchopeni_P
Posuv pro ucpání světla	HP	HP_ucpavaci_valec
Posuv pro aretaci světla	HP	HP_valec_aretace
Blok pro tlakování	DP	DP_tlakovani
Výsuvný válec včetně snímače	HP	HP_vysuvny_snimac
Levé rameno pro snímač	HP	HP_snimac_rameno_L
Čidlo přítomnosti spony I.	HP	HP_P_pritomnost_senzor
Čidlo přítomnosti spony II.	HP	HP_P_pritomnost_stred_senzor
Čidlo přítomnosti spony III.	HP	HP_L_pritomnost_senzor
Čidlo přítomnosti spony IV.	HP	HP_L_vysuvne_senzor

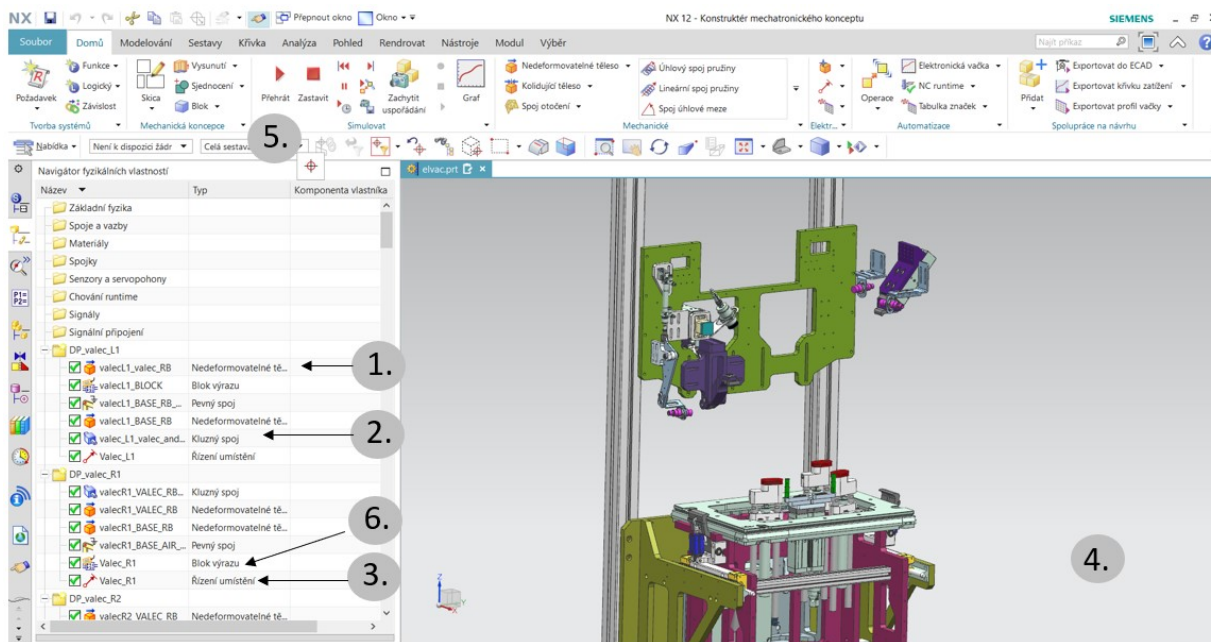
Tato bakalářská práce využívá podobných principů v MCD pro zprovoznění všech výše uvedených prvků. Proto budou popsány jen ukázkové. Ostatní prvky jsou jím velmi podobné nebo se liší pouze v použitých konstantách omezení pohybu.

### 3 Realizace virtuálního modelu vybraného systému

V této části jsou popsány základní funkce v prostředí MCD, potřebné k realizaci výsledného modelu.

#### 3.1 Základní orientace v prostředí

Na obrázku 3.1 jsou vyobrazeny základní ovládací prvky prostředí NX MCD.



Obrázek 3.1: Základní funkce NX MCD

1. Základní fyzika – slouží k přiřazení základních fyzikálních vlastností konceptu. Určuje základní chování vyvíjené úlohy.
2. Spoje a vazby – soubor funkcí, ve kterých můžeme přiřadit 3D modelu spojení a klouby.
3. Sensory a servopohony – pro přidání sensorů a pohonů, které ovládají a pohybují s 3D modelem.
4. Pracovní plocha – pro práci s 3D modelem.
5. Simulace – blok pro ovládání simulace – přehrát / zastavit apod.
6. Expresní blok – vhodné pro přiřazení logiky danému prvku.

## 3.2 Podrobné funkce MCD

### 3.2.1 Základní fyzika



*Nedeformovatelné těleso*

Lze definovat komponentu jako přesunutelnou [7]. Můžeme na ní aplikovat gravitaci. Objekty, které jsou nedeformovatelné při spuštění simulace vlivem gravitace spadnou dolů. Tedy objekty, které neoznačíme jako nedeformovatelné jsou zcela stacionární.



*Zdroj objektu*

Tato funkce je vhodná, pokud máme stroj, který přesouvá jeden typ objektů. Není nutné jich vytvářet  $n$ , ale stačí pouze jeden, který se bude obnovovat podle zadaných podmínek.



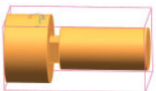
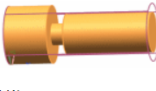
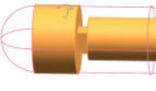
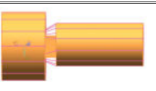
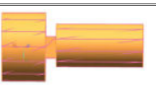
*Skladiště objektů*

Pokud dojde ke kolizi objektu generovaného *zdrojem objektů* a *skladištěm objektů*, objekt vygenerovaný *zdrojem objektů* zmizí. Slouží pro odstranění replik.



*Kolidující těleso*

Pomocí tohoto příkazu je možné definovat, jak se prvky budou chovat, při dotyku s ostatními prvky. Rozlišujeme různé tvary kolize:

Typ	Geometrická přesnost	Spolehlivost	Výkon simulace
 Schránka	Nizká	Velký	Velký
 Válec	Nizká	Velký	Velký
 Kapsle	Nizká	Velký	Velký
 Multikonvexní	Střední	Velký	Střední
 Síť	Velký	Nizká	Nizká

Obrázek 3.2: *Typy kolizních tvarů*

Pro zlepšení výkonu simulace, je vhodné vybírat jednodušší tvary (pokud je to možné).

### 3.2.2 Spoje a vazby



#### *Spoj otočení*

Pro spoj s jedním stupněm volnosti. Přiřazení dvou těles kolem jedné osy. Není možný posuv.



#### *Kluzný spoj*

Jeden stupeň volnosti pro posuvný pohyb mezi dvěma tělesy. Bude použito pro simulaci pneumatických válců.



#### *Pevný spoj*

Obsahuje dva typy ke spojení, připojení a základnu. Pokud využijeme pouze připojení vybraný prvek se upevní v souřadnicích os x, y, z (tedy při simulaci "nespadne"). Pokud použijeme připojení a základnu, oba prvky spojíme k sobě pevným spojením.

### 3.2.3 Pohony



#### *Řízení umístění*

Pro posuv v libovolném směru. Jedná se o pohon, který je nutný pro další části řízení. Možné nastavit *Cíl* a *rychlost*. Tyto parametry jsou limitní pro pohyb.



#### *Plocha přesunu*

Funkce vhodná pro úlohy, kde využijeme přesunu objektů. Lze označit plochu, které přiřadíme rychlost a vektor přesunu. Možný pohyb po přímce nebo kružnici.



#### *Pneumatický válec*

Možné simulovat přesné vlastnosti pneumatického válce. Dané tlaky pro tlakové komory, typy ojnice, průměr pístu, teploty plynu apod.

### 3.2.4 Senzory



#### *Senzor kolize*

Pro objekty, které kolidují s ostatními a vyvolávají potřebnou událost.



#### *Senzor vzdálenosti*

Nutné pro snímání a simulaci objektů v nedaleké přítomnosti. Lze nastavit *úhel otevření* a *rozsah*.

Pro optimalizaci náročné simulace je vhodné tyto senzory nesimulovat ale pouze je manuálně nastavit (např. v TIA portálu).

### 3.2.5 Signály



Tabulka značek

Zabývá se importem signálu z TIA portálu nebo jiného prostředí.



Signál

Může být vytvořený z MCD pro řízení dané úlohy (veličiny), nebo importovaný z jiného programu.



Adapter signálu

Zahrnuje signály z MCD z daných pohonů. Tyto signály je možné dále přiřadit k signálům z TIA portálu.



Importovat signály

Pro řízení modelu reálným nebo virtuálním PLC je možné tyto signály z PLC exportovat ve formátu tabulkového editoru, a MCD dokáže tyto signály importovat včetně adres a komentářů. Zatím MCD podporuje pouze datové typy bool, int, double.

### 3.2.6 Signální připojení

Vytvoření virtuálního spojení s PLC. Obsahuje danou instanci z programu PLCSIM Advanced 2.0. Tato instance zahrnuje signály z TIA portálu a z MCD, nutné tyto signály navzájem přiřadit.

### 3.2.7 Expresní blok

Příprava pro řízení pomocí PLC. Je možné mu nastavit vstupy, parametry a výstupy. K těmto vstupům a výstupům můžeme přiřadit pohony, spoje apod. Po přiřazení v režimu simulace, lze pomocí daných vstupů a přiřazené logiky v ní, ovládat výstupy.

Název	Typ dat	Počátečn...	Měrit	Jednotka	Z	Vzorec	Komentář
toP	bool	false			Vstupy		ovladani valce dopredu
toV	bool	false			Vstupy		ovladani valce dozadu
pos_actual	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm	Vstupy		aktualni pozice osy -- napo...
atP	bool	false			Výstupy	pos_actual > (pos_lim_up - pos_hy...	koncova poloha valce
atV	bool	false			Výstupy	pos_actual > (pos_lim_low - pos_h...	koncova poloha valce
pos_gold	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm	Výstupy	if run then (if (toP && ! toV) then p...	cilova poloha valce -- napo...
speed_gold	číslo s dv...	0.000000	Rychlost	mm/s	Výstupy	speed	omezeni rychlosti valce -- n...
acceleration...	číslo s dv...	0.000000	Zrychlení	mm/s <sup>2</sup>	Výstupy	acceleration	omezeni zrychleni valce -- ...
pos_lim_up	číslo s dv...	8.000000	Délka	mm	Parametry		poloha valce pri vysunutí
pos_lim_low	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm	Parametry		poloha valce při zasunutí
pos_hyst	číslo s dv...	1.000000	Délka	mm	Parametry		hystereze koncovych snima...

Obrázek 3.3: Příklad expresního bloku

Tato bakalářská práce využívá podobných principů v MCD pro zprovoznění všech výše uvedených prvků. Proto budou popsány jen ukázkové. Ostatní prvky jsou jím velmi podobné nebo se liší pouze v použitých konstantách omezení pohybu.

### 3.3 Definice pohybů a napojení na expresní bloky

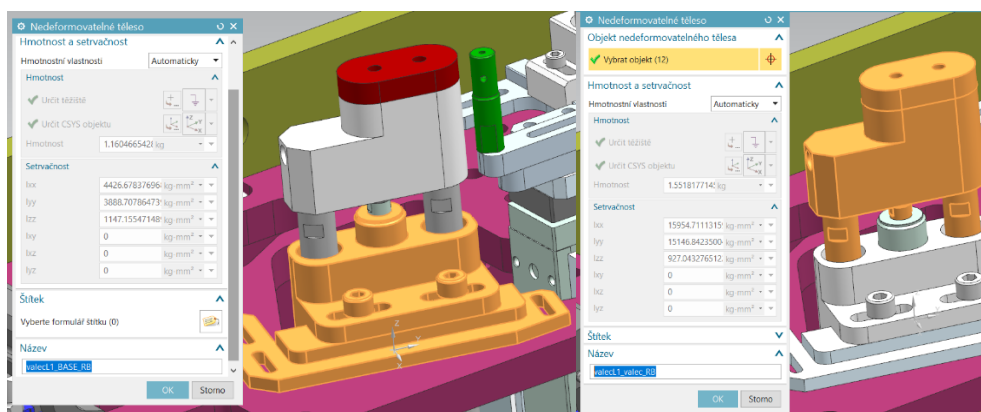
Pro realizaci řízení jsou vysvětleny jednotlivé prvky daného zařízení.

#### 3.3.1 Posuv pro utěsnění světla I.

##### Základní fyzika

Všechny prvky, které budeme simulovat je nutné označit jako *nedeformovatelné těleso*.

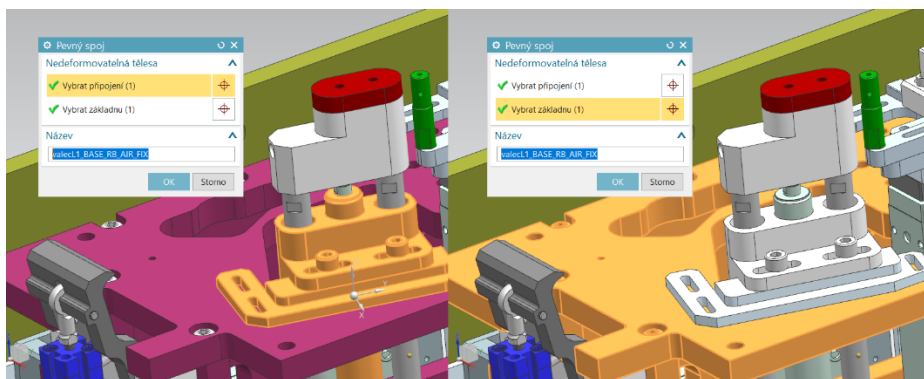
Pro řízení pneumatického válce je nutné nejprve zvolit která část bude základna a která část bude připojení (část, která se bude hýbat).



Obrázek 3.4: *Nedeformovatelné těleso – základna a připojení*

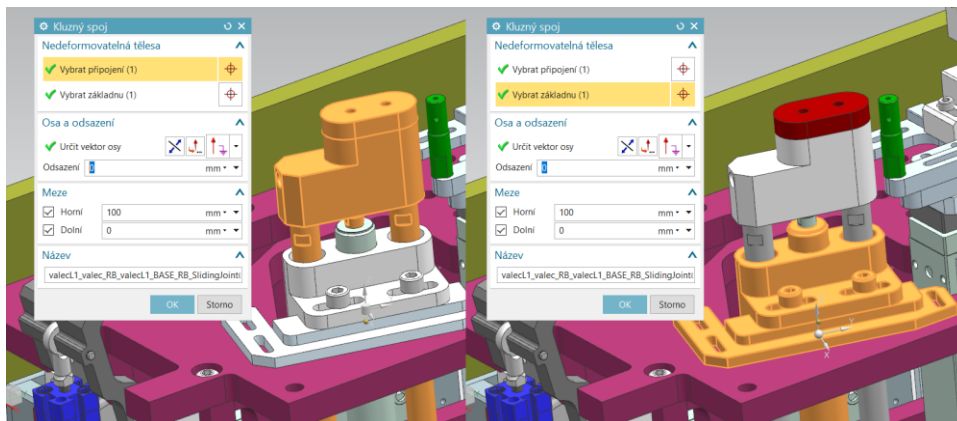
##### Spoje a vazby

V tomto případě využijeme dva typy spojů – *pevný* a *kluzný*. Pro oba spoje je nutné nastavit totéž, základnu a připojení. Jako základnu použijeme celý dolní přípravek. Z důvodu pozdějšího pohybu celého dolního přípravku včetně všech komponent. Připojení pevného spoje zvolíme základnu pneumatického válce. Stejný princip využijeme pro *kluzný spoj*. Ovšem *kluzný spoj* ještě požaduje vektor směru posuvu.



Obrázek 3.5: *Zvolení základny a připojení pro pevný spoj*

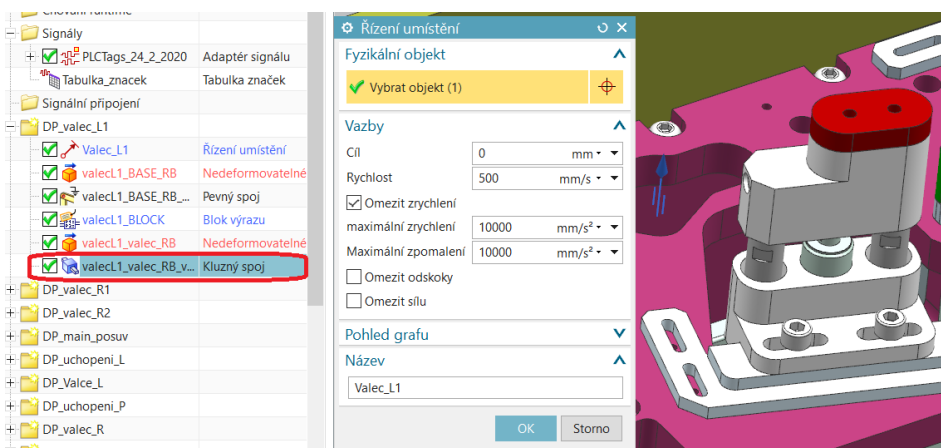




Obrázek 3.6: Zvolení základny a připojení pro kluzný spoj

### Pohony

Pouze pro ilustraci pohybu využijeme řízení umístění. Na daný kluzný spoj aplikujeme tento pohon.

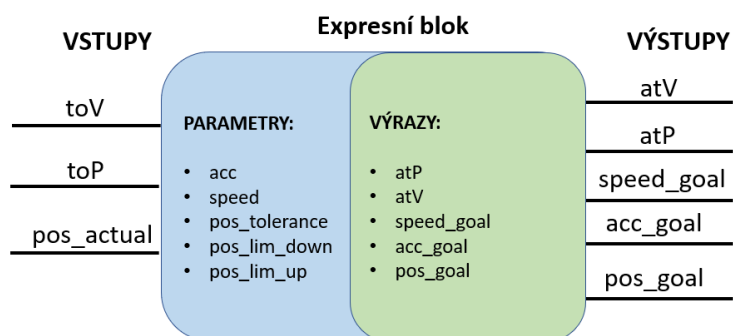


Obrázek 3.7: Přřazení pohonu na kluzný spoj

Konstanty jsou zvoleny pouze orientačně z důvodu nedostatku informací o daných pohonech, pneumatické soustavě apod. Rozdíl mezi ručním ovládním a pohonem je, že při simulaci je možné pohonu nastavit danou hodnotu a daný pohon nastaví tuto hodnotu. Při ručním ovládním toto není možné. Další z výhod je snadné napojení na expresní blok. Tato možnost u ručního ovládním není možná.

### Expresní výraz (blok)

V tomto projektu je využíván pouze jeden expresní blok, který je použit pro všechny typy prvků kromě senzorů. Výhoda spočívá v snadné aplikaci na další prvky. Jednou vytvoříme tento blok a je znovu použitelný.



Obrázek 3.8: Znárodnění expresního bloku z pohledu MCD

**Popis signálů:**

Tabulka 3.1: Popis signálů v expresním bloku

Název	Charakter	Funkce
toV	tlačítko	pohyb do Výchozí pozice
toP	tlačítko	pohyb do Pracovní pozice
pos_actual	nápojení na kluzný spoj	aktuální pozice
acc	konstanta	zrychlení kluzného spoje
speed	konstanta	rychlost kluzného spoje
pos_tolerance	konstanta	vůle prvku +- 1 mm
pos_lim_down	konstanta	parametr pro posuv do dolní pozice
pos_lim_up	konstanta	parametr pro posuv do horní pozice
atV	senzor	koncová výchozí pozice
atP	senzor	koncová pracovní pozice
speed_goal	parametr nápojený na řízení pozice	cílová rychlost
acc_goal	parametr nápojený na řízení pozice	cílové zrychlení
pos_goal	konstanta	cílová pozice

Na vstupní parametr *pos\_actual* je nápojen posuvný spoj, který předává informace o své poloze. Výstupní parametry *speed\_goal*, *acc\_goal*, *pos\_goal* jsou nápojeny na pohon umístění. Konstanty jsou voleny dle podle potřeby rozsahu pohybu prvku.

Do PLC budou posílány signály – *toV*, *toP*, *atV*, *atP*.

Aby bylo možné řídit posuv tlačítka *toV* a *toP* je nutné jim přiřadit funkci. Funkce má v sobě dvě podmínky. Pokud je sepnuto tlačítko *toP* a zároveň není sepnuto tlačítko *toV* je sepnut parametr *pos\_lim\_up*. V opačném případě je sepnut parametr *pos\_lim\_down*. V případě, že obě hodnoty jsou sepnuty nebo vypnuty, získáváme hodnotu aktuální pozice *pos\_actual* z kluzného spoje.

```
If (toP && !toV) Then pos_lim_up Else If (toV && !toP) Then pos_lim_down Else pos_actual
```

Obrázek 3.9: Funkce výstup *pos\_goal*

Pro koncovou pozici *atP* je funkce, která zahrnuje kladnou hodnotu toleranční hodnoty a hodnotu zápornou. Funkce pro pozici *atV* je rozdílná pouze v použití parametru *pos\_lim\_down*.

```
pos_actual > (pos_lim_up - pos_tolerance) && pos_actual < (pos_lim_up + pos_tolerance)
```

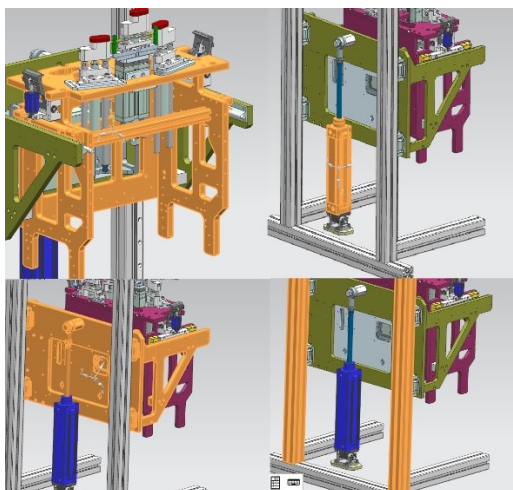
Obrázek 3.10: *Funkce pro pozici atP*

Totožná konfigurace prvků a napojení na expresní blok je provedena také u prvků:

- Posuv pro utěsnění světla II
- Posuv pro utěsnění světla III
- Blok pro tlakování
- Výsuvný válec včetně snímače

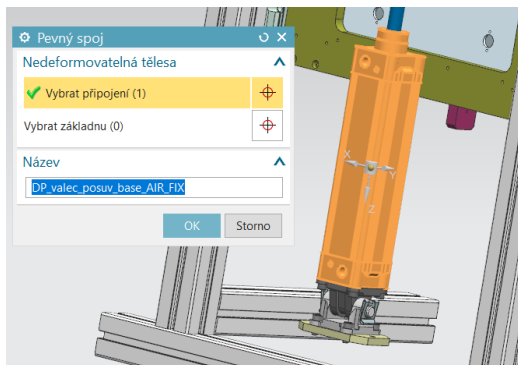
### 3.3.2 Posuv dolního přípravku

Je nutné označit všechny díly, které chceme simulovat. V tomto případě je stroj rozdělen na čtyři části. Dolní přípravek, jeho konstrukce, drážka pojezdů a vlastní pneumatický válec.



Obrázek 3.11: *Označení jako nedeformovatelná tělesa*

V dalším kroku je nutné prvky k sobě přichytit pevnou vazbou. Tedy dolní přípravek ke konstrukci, drážka ke konstrukci. Pokud dané těleso není k ničemu přichyceno a je stacionární, je možné pouze vybrat připojení a položku *základna* nechat nevyplněnou. Při tomto zvolení daný prvek nezačne padat vlivem gravitace.

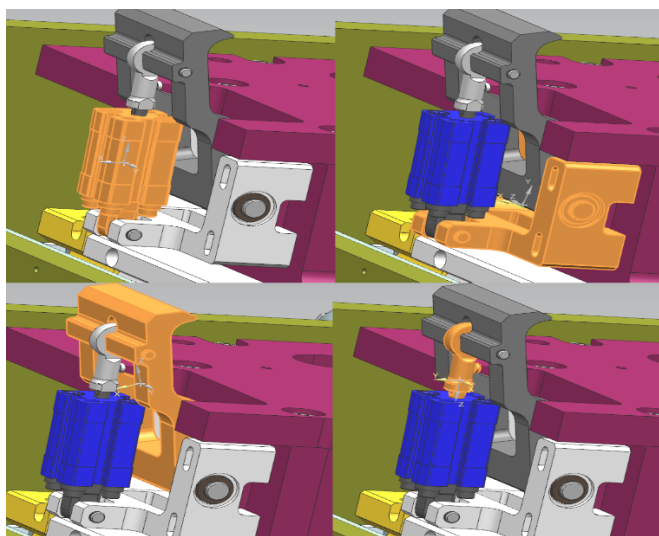


Obrázek 3.12: Přichycení stacionárního prvku

Pro tato zvolená nedeformovatelná tělesa zbývá jen dodělat *kluzný spoj*, kde jako základnu použijeme pneumatický válec a jako připojení konstrukci, ke které je připevněn dolní přípravek. Na takto definovaný spoj aplikujeme pohon a již zmíněný expresní blok.

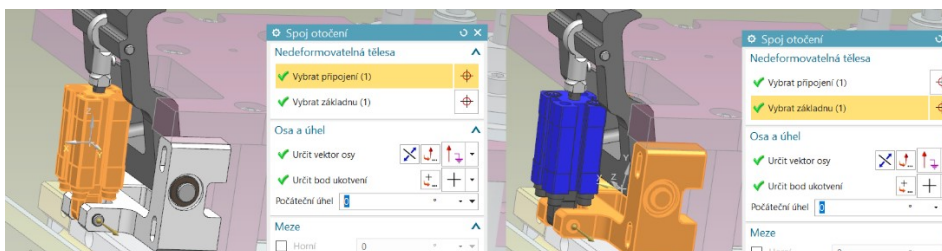
### 3.3.3 Levé uchopení paletky

Zvolený prvek se skládá z těchto komponent: vlastní pneumatický válec, píst, konstrukce pro připevnění na dolní přípravek a vlastní uchopovací prvek. Tyto komponenty je nutné opět označit jako nedeformovatelná tělesa.



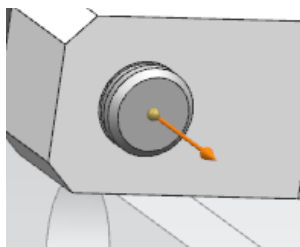
Obrázek 3.13: Nedeformovatelná tělesa pro levé uchopení paletky

Jako *pevný spoj* zvolíme konstrukci a dolní přípravek. V tomto případě je vhodné využít prvku *otočný spoj*.



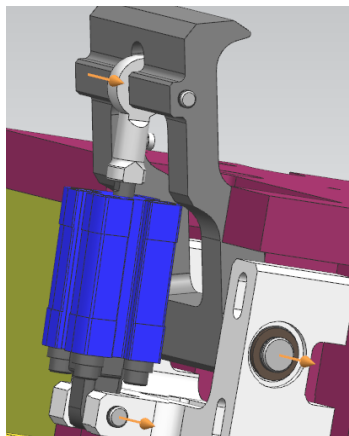
Obrázek 3.14: Nastavení základny a připojení v otočném spoji

K tomuto základnímu nastavení je vhodné doplnit vektor osy a bod ukotvení, aby NX MCD mohl simulovat spoj ve správném směru otáčení.



Obrázek 3.15: Zvolení bodu ukotvení a vektoru osy pro otočný spoj

Pro tento uchopovací prvek, uvedený *otočný spoj* aplikujeme třikrát. Mezi píst a uchopovací prvek, konstrukci přichycené k dolnímu přípravku a uchopovacímu prvku a vlastnímu pneumatickému válci a konstrukci pro dolní přípravek.

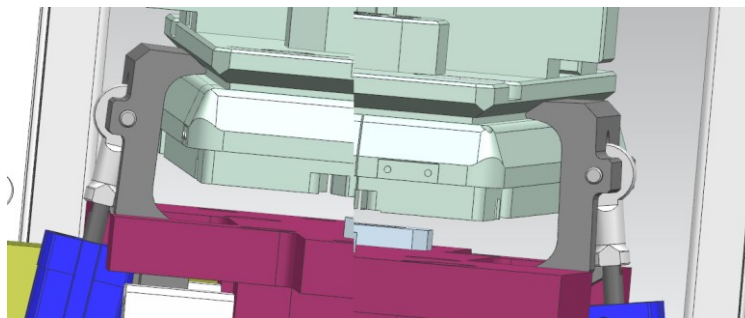


Obrázek 3.16: Znáznornění tří otočných spojů a jejich os otočení

Když máme takto přichystané spoje otočení, stačí znovu aplikovat *kluzný spoj* na píst a pneumatický válec. Pak je na řadě pohon a expresní blok. Pravé uchopení paletky obsahuje stejné prvky pouze otočené na pravou stranu. Pro finální uchycení bylo nutné vhodně zvolit konstanty, aby došlo k přesnému uchopení. Je možné je zvolit na straně *kluzného spoje* nebo v expresním bloku. Pro tento případ byl vybrán expresní blok. Zvolení v expresním bloku je možné, ale vyšší prioritu má nastavení v *kluzném spoji*. Tedy pokud v *kluzném spoji* bude nižší hodnota než v expresním bloku, parametr *pos\_lim\_up* se zastaví na hodnotě uvedené v *kluzném spoji*. Tato hodnota byla určena metodou pokus – omyl.

Vstupy	Výstupy	Parametry	Stavy	Výrazy					
Název	Typ dat	Počátečn...	Měřit	Jednotka	Z	Vzorec	Komentář		
toP	bool	false				Vstupy	ovladani valce dopredu		
toV	bool	false				Vstupy	ovladani valce dozadu		
pos_actual	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm		Vstupy	aktualni pozice osy -- napo...		
atP	bool	false				Výstupy	pos_actual > (pos_lim_up - pos_tol...	koncova poloha valce	
atV	bool	false				Výstupy	pos_actual > (pos_lim_down - pos...	koncova poloha valce	
pos_goal	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm		Výstupy	If(toP && !toV) Then pos_lim_up El...	cilova poloha valce -- napo...	
speed_goal	číslo s dv...	0.000000	Rychlost	mm/s		Výstupy	speed	omezeni rychlosti valce -- n...	
acc_goal	číslo s dv...	0.000000	Zrychlení	mm/s <sup>2</sup>		Výstupy	acceleration	omezeni zrychleni valce -- ...	
pos_lim_up	číslo s dv...	8.000000	Délka	mm		Parametry		poloha valce pri vysunutí	
pos_lim_do...	číslo s dv...	0.000000	Délka	mm		Parametry		poloha valce pri zasunutí	
pos_tolerance	číslo s dv...	1.000000	Délka	mm		Parametry		hystereze koncovych snima...	
speed	číslo s dv...	500.0000...	Rychlost	mm/s		Parametry		omezni rychlosti valce	

Obrázek 3.17: Nastavení počáteční hodnoty 8 mm pro uchopení

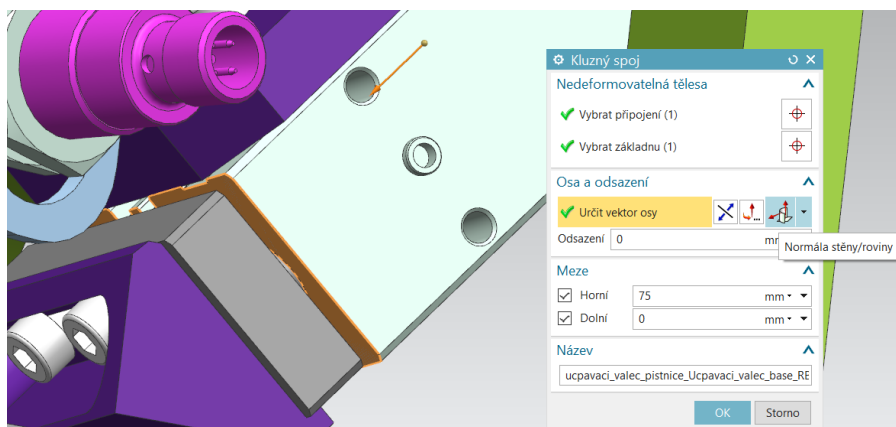


Obrázek 3.18: Výsledné uchycení paletky z levé a pravé strany

### 3.3.4 Posuv pro ucpání světla

V tomto případě se opět jedná o imitaci pneumatického válce, který na spodní části má goretexovou podložku pro ucpání světla, aby nedocházelo k úniku vzduchu.

Tento prvek je velmi podobný s prvky pro utěsnění světla. Má dvě hlavní *nedeformovatelná tělesa*, *pevný a posuvný spoj*. V tomto případě vektor osy není v základním rozvržení os x, y, z. Byla tedy vybrána možnost *Normála stěny/roviny*. V případě potřeby lze vektoru z této normály přiřadit opačný směr.

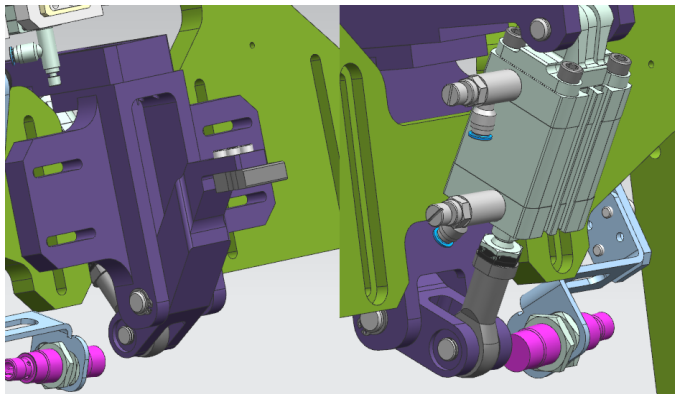


Obrázek 3.19: Určení vektoru pro kluzný spoj

Již následuje rutinní připojení pohonu a napojení na expresní blok.

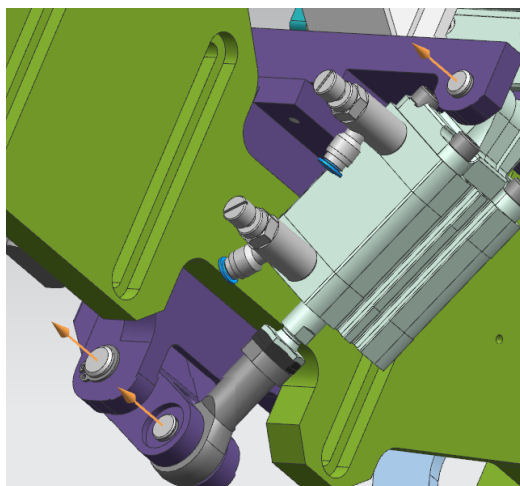
### 3.3.5 Posuv pro aretaci světla

Tento prvek se skládá z vlastního pneumatického válce, pístnice, mechanismu pro zajištění světla a konstrukci kterou je tento prvek připevněn k hornímu přípravku. Označíme tedy všechny tyto prvky za nedeformovatelná tělesa. Pomocí pevného spoje připevníme konstrukci prvku k hornímu přípravku.



Obrázek 3.20: *Prvek pro aretaci světla*

Daný prvek obsahuje tři šrouby, ve kterých dochází k natočení výsledného prvku. Pro zajištění tohoto chování jsou zvoleny jako otočné spoje.



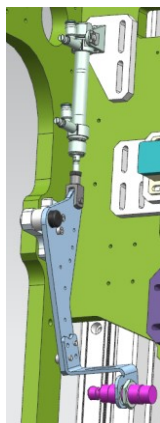
Obrázek 3.21: *Určení otočných spojů*

Pro zajištění posuvného pohybu pístnice a tím pohyb aretačního prvku aplikujeme na pístnici a pneumatický válec *kluzný spoj*. K napojení na expresní blok již stačí jen propojit pohon a *kluzný spoj*.

### 3.3.6 Levé rameno pro snímač

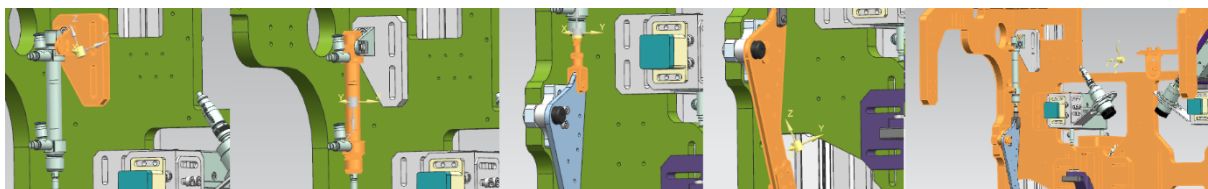
Rameno se skládá z komponent:

- Pístnice
- Pneumatický válec
- Konstrukce k připevnění
- Spojka pro rameno a pístnici



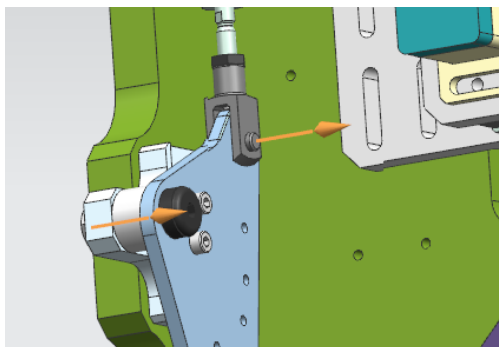
Obrázek 3.22: *Levé rameno pro snímač přítomnosti*

Uvedené prvky označíme jako nedeformovatelná tělesa.



Obrázek 3.23: *Zvolení nedeformovatelných těles*

Na obrázku 3.23 jsou zobrazeny nedeformovatelná tělesa. V dalším kroku zvolíme pevné spojení, aby nedošlo k nevyžádanému pohybu. Pevně spojíme horní přípravek s konstrukcí pro pneumatický válec. Tento prvek obsahuje dva otočné spoje. Nachází se v místě přechodu mezi prvky.



Obrázek 3.24: *Otočné spoje*

Pro dosažení posuvného pohybu aplikujeme *kluzný spoj* na pneumatický válec a jeho pístnici. Zbývá jen přiřadit pohon a napojení na expresní blok.

### 3.3.7 Světlo

Aby bylo možné simulovat přítomnost spon na okrajích světla je nutné také světlo a jeho komponenty označit za *nedeformovatelné těleso*. Z důvodu složitosti světla a jeho komponent byla celá konstrukce zjednodušena na pouze dva díly. Plastová konstrukce včetně spon a sklo. Pro přiřazení základní fyziky použijeme funkci *nedeformovatelné těleso*.

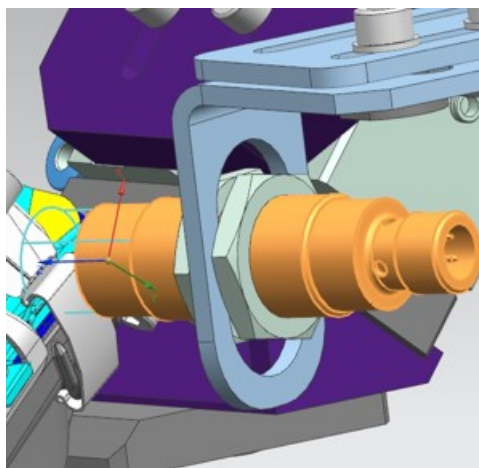


Tento světlomet je přichycen ke konstrukci, kterou nazýváme paletka. Protože nebude simulován pohyb celé paletky se světlem, ale paletka bude již na svém místě, není třeba paletku simulovat, a tedy označovat za *nedeformovatelné těleso*.

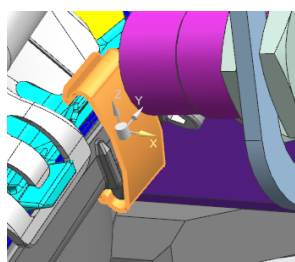
Díly světla drží k sobě na daných místech spony, které je nutné simulovat. Proto je nutné je označit za *kolidující tělesa*. Slouží pro interakci se snímači nebo jinými prvky MCD.

### 3.3.8 Senzor přítomnosti spony

Pro snímání přítomnosti byl vybrán prvek *senzor kolize*. Pro vybrání je vyžadováno zvolení objektu, kterým budeme předměty snímat. Podle tvaru kolize lze zvolit různé tvary a tím změnit plochu, kterou snímač bude snímat. Byl zvolený senzor ve tvaru válce s parametry výšky 20 mm a poloměru 8 mm. Tyto parametry jsou dostačující k tomu, aby bylo možné sponu zachytit. Aby senzor tuto sponu rozpoznal, spona musí být označena za *kolidující těleso*.



Obrázek 3.25: *Senzor kolize*



Obrázek 3.26: *Snímaná spona*

Tento senzor byl použit v projektu celkem čtyřikrát. Dvakrát pro statické senzory a dvakrát pro čidla, které je nutné na místo

## 4 Demonstrace možností virtuálního uvádění do provozu s využitím vytvořeného modelu

Při virtuálním zprovoznění pomocí NX MCD a napojení na TIA portál přes aplikaci PLCSIM Advanced je nutné splnit tyto kroky:



Obrázek 4.1: *Postup při virtuálním uvádění do provozu*

### 1. Základní konfigurace PLC

Pro komunikaci MCD s TIA portálem je využito virtuálního PLC (PLCSIM Advanced). Aby bylo možné jej simulovat je nutné zvolit řadu S7-1500.

### 2. Tvorba a export PLC tagů

V TIA portálu je nutné vytvořit tagy pro vstupy a výstupy, které budeme získávat nebo odesílat do MCD.

### 3. Import signálů z PLC

TIA portál exportuje soubor ve formátu tabulkového editoru se kterým MCD může dále pracovat.

### 4. Mapování signálů

Když máme signály z expresního bloku a importu z PLC je možné je „namapovat“. Tedy určit signály, které jsou totožné. Pro tuto fázi je vhodné signály pojmenovat podobným způsobem. V tuto chvíli je možné s prvky v MCD manipulovat přes *watch tabulku* v TIA portálu.

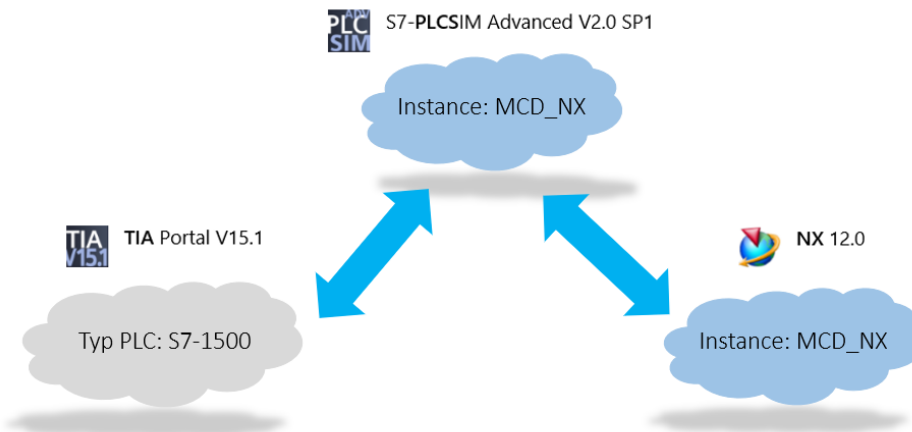
### 5. PLC program

V posledním kroku je vhodné vytvořit program pro PLC, kterým budeme celou úlohu řídit.

## 4.1 Vytvoření konfigurace PLC

Pro nastavení komunikace je nutné zvolit tyto parametry:

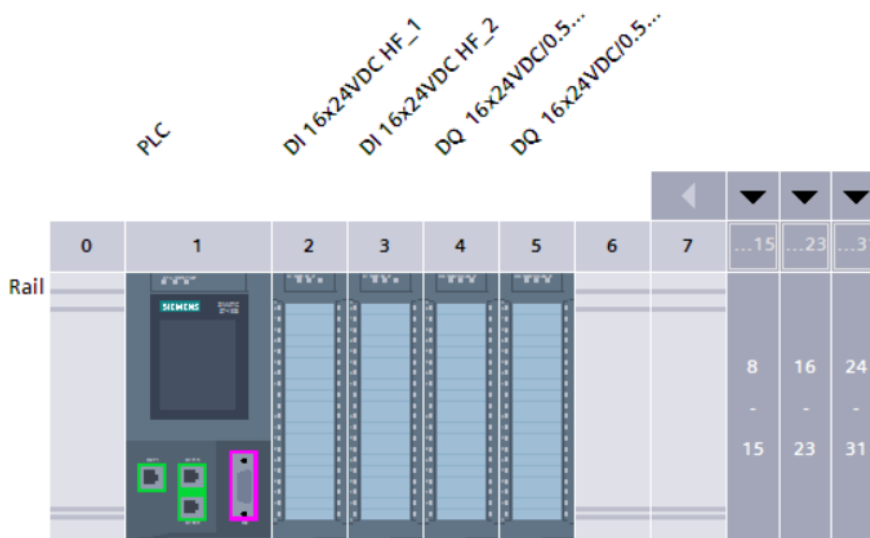
- Typ PLC S7-1500 s použitím libovolného CPU
- Instance, přes kterou PLCSIM Advanced a NX MCD bude komunikovat – stejný název instance musí být uveden i v MCD



Obrázek 4.2: Popis komunikace mezi MCD a TIA portálem

Byla zvolena varianta pro připojení přes virtuální PLC (PLCSIM Advanced), tento program virtuálního PLC musí mít poslední vydanou verzi (V2.0 SP1). Při jiných verzích program neběží správně. PLCSIM Advanced dokáže virtualizovat všechny PLC z řady S7 -1500 [2]. Byla zvolena možnost verze s CPU 1516-3 PN/DP. Pro náročnost signálů byly zvoleny karty pro digitální vstupy 2x DI 16x24VDC HF a 2x digitální výstupy DQ 16x24VDC/0.5 A HF.

PLCSIM Advanced nepodporuje využití funkčních a komunikačních modulů, paměťovou SD kartu a její přidružené funkce a webový server [2].



Obrázek 4.3: Hardwarová konfigurace PLC

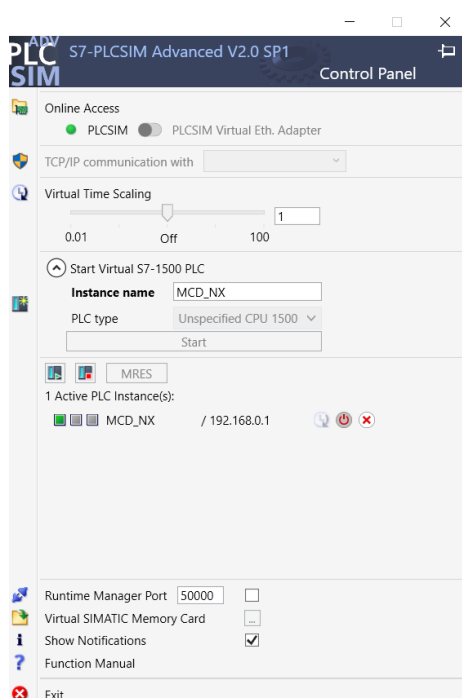
Pro potřeby PLC programu byly vytvořeny tagy podle signálů z MCD. Pro zpřehlednění je vhodné je pojmenovat podobně jako v MCD, aby bylo možné je snadno přiřadit. Celá tabulka tagů je v příloze.

Všechny tyto signály byly opětovně zobrazeny ve *watch* tabulce. Tato tabulka slouží k přehlednému zobrazení aktuálních stavů daných tagů a možnost vstupy a výstupy ovládat ručně.

Pro další přenos do MCD byly tagy z PLC exportovány do tabulkového editoru excel a následně uloženy s příponou *xlsx*. Takto exportovaná tabulka lze načíst v MCD.

## 4.2 Nastavení PLCSIM Advanced

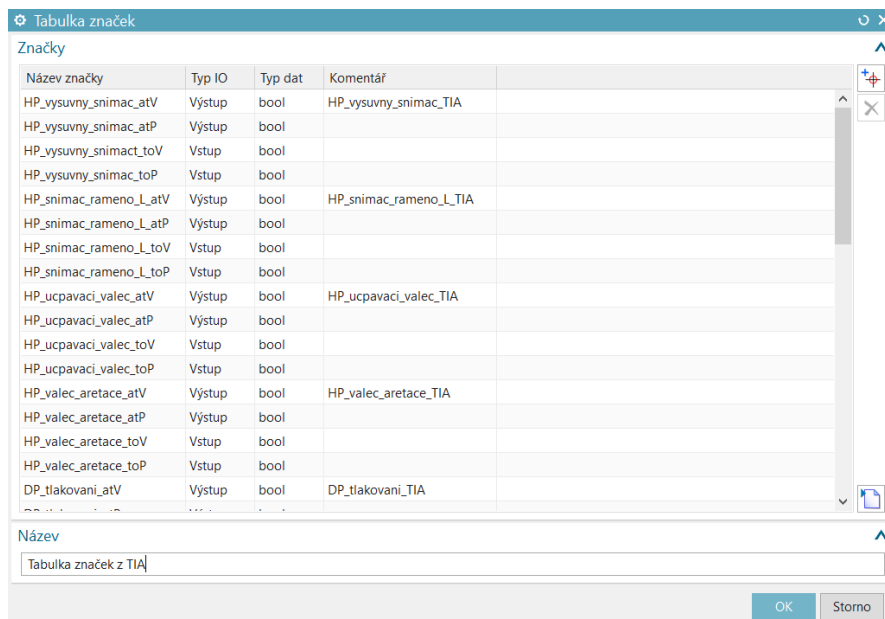
Po spuštění PLCSIM byla možnostech *online access* zvolena možnost PLCSIM. Dále vytvořena instance s názvem *MCD\_NX*, pro nespecifikovaný typ CPU. Uvedená instance vygeneruje IP adresu, ke které je možné se v TIA portálu připojit po vybrání možnosti *Download to device*.



Obrázek 4.4: Vytvořená instance

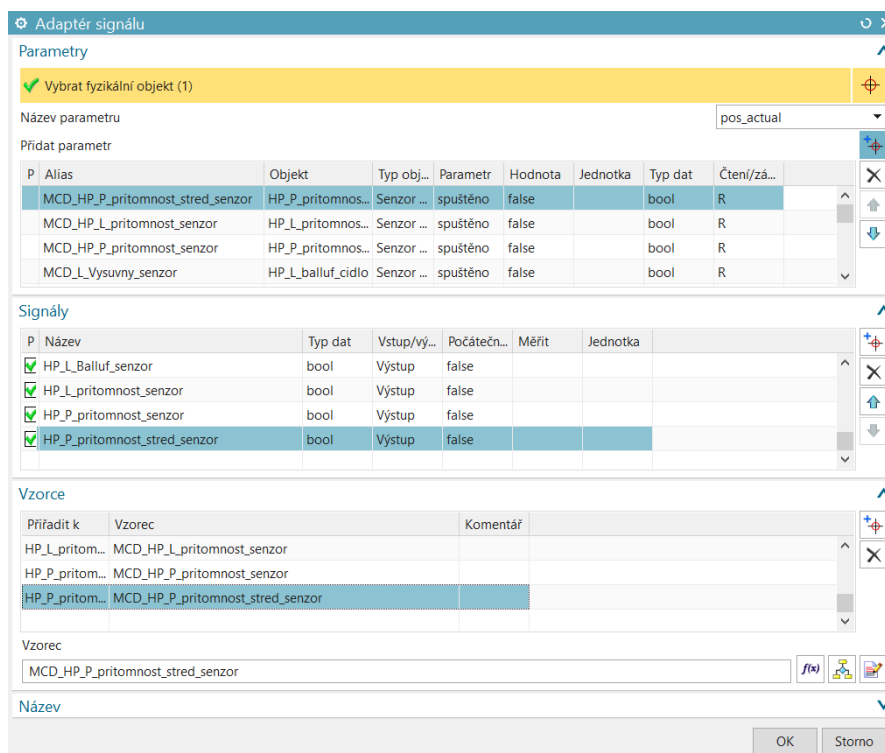
## 4.3 Import a mapování signálů

MCD dokáže importovat tabulku signálů (tagů) z TIA portálu. Vyexportovaný soubor byl načten pomocí odkazu *Importovat signály*. Poté v možnostech byla vybrána možnost TIA portál a následně cílový soubor. Po potvrzení volby MCD vytvoří tabulku značek.



Obrázek 4.5: *Tabulka značek*

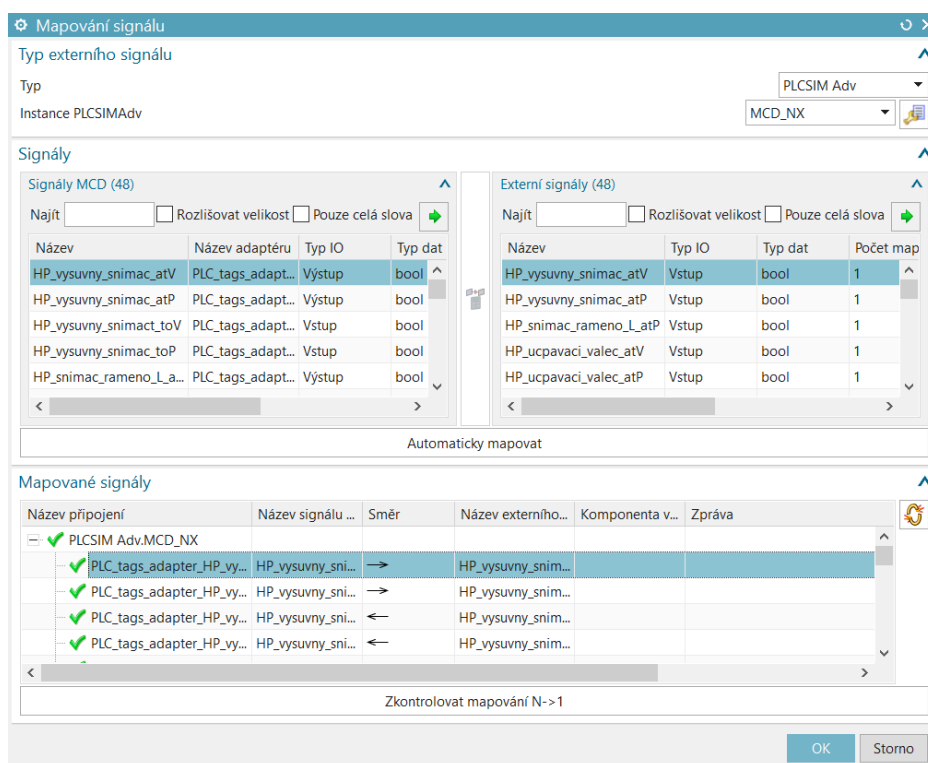
Současně MCD vytvořil také *Adaptér signálu*. Tato funkce slouží k přiřazení konkrétní proměnné (tagu) z PLC s konkrétní proměnnou v MCD.



Obrázek 4.6: *Adaptér signálu*

Pro přiřazení signálu je nutné nejprve vybrat signál z daného expresního bloku. Potvrdit přidání parametru červenou a modrou hvězdou v pravém horním rohu. Tímto se tento signál přidá do výběru a obsahuje informace o signálu. V dalším kroku byl signál vyhledán ze seznamu, který byl načten z importu. Následně je přiřazení provedeno vzorcem. V tuto chvíli jsou signály propojeny, ovšem není

možné je ovládat. K tomu slouží funkce *Mapování signálu*. V adaptéru pouze propojujeme signály z expresních bloků a PLC. Až při mapování se MCD dotazuje přes instanci *MCD\_NX*, jaké signály jsou uvedeny v TIA portálu.



Obrázek 4.7: *Mapování signálu*

Při mapování je nutné zvolit signál z MCD a externí (v našem případě z TIA portálu). Pokud je mapování úspěšné, je zobrazeno v podokně *Mapované signály*. Zde je graficky znázorněn tok signálu. U senzorů je to signál z MCD do externího (TIA). Pro pohony je šipka opačným směrem. Lze využít možnosti automatického mapování, pokud jsou signály označeny stejným způsobem.

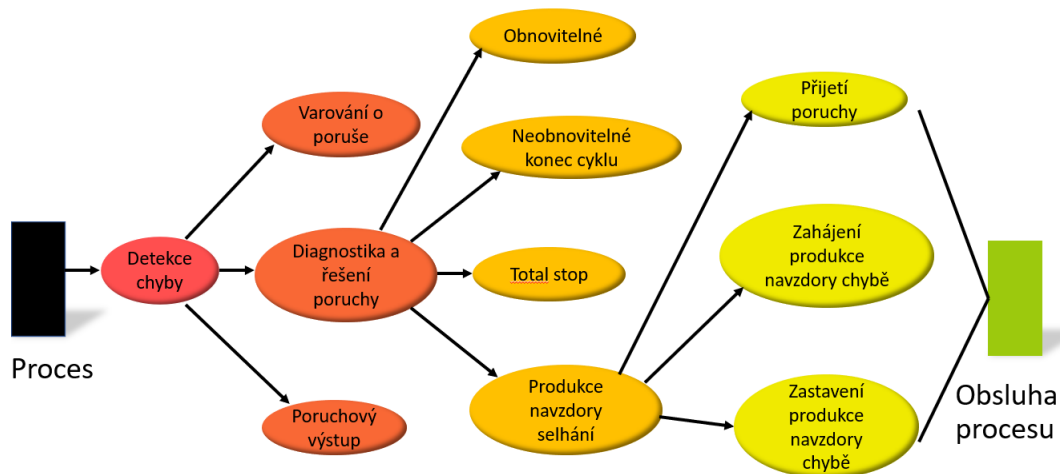
V tuto chvíli je zprovoznění téměř u konce. Při zapnutí simulaci a zapnutém procesoru lze ve *watch tabulce* sledovat aktuální stav senzorů.

Siemens_NX_MCD_BC ▶ PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▶ Watch and force tables ▶ WATCH_TABLE							
	Name	Address	Displa...	Monitor ...	Modify ...	Comment	Tag comment
1	"HP_vysuvny_snimac_atV"	%I0.0	Bool	TRUE	TRUE		HP_vysuvny_snimac_TIA
2	"HP_vysuvny_snimac_atP"	%I0.1	Bool	FALSE	TRUE		
3	"HP_vysuvny_snimact_toV"	%Q0.0	Bool	FALSE	FALSE		
4	"HP_vysuvny_snimac_toP"	%Q0.1	Bool	FALSE	TRUE		

Obrázek 4.8: *Aktuální stav ve watch tabulce*

#### 4.4 Vytvoření PLC programu

Při tvorbě PLC programu je nutné také dbát na možné poruchy a reakce programu na tyto poruchy. Ve fázi testování daného zařízení, je možné program připravit na všechny tyto poruchy a vidět, jak bude zařízení reagovat v čase. Tento čas je pouze orientační, protože dochází k zpomalení simulace vlivem náročnosti NX MCD a propojení s PLCSIM Advanced.



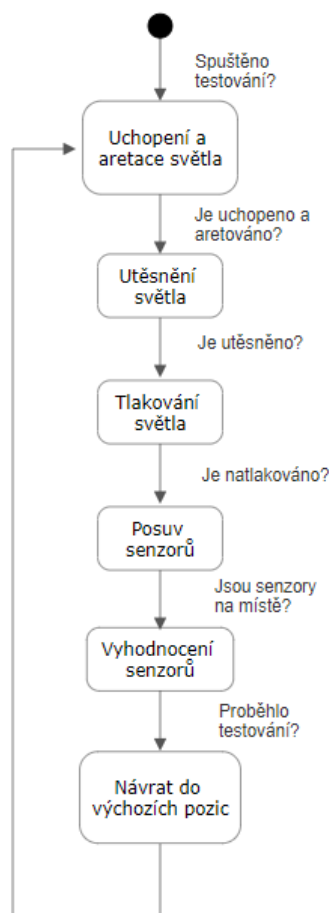
Obrázek 4.9: Use case diagram pro Fáze Chyb [10]

Tento základní diagram je základem pro vývoj řídicího systému [10]. Pro vybrané části uvedeného diagramu je vhodné vytvořit program, který tyto části bude obsluhovat. V prostředí NX MCD je možné tyto části odzkoušet bez rizika zničení daného zařízení, a při testování mohou být odhaleny chyby nebo nedostatky v kódu pro vlastní PLC.

Vlastní řídicí program byl značně zjednodušen v porovnání pro nasazení do výroby. Program byl postaven na základě stavového automatu. Program je vykonáván v jednotlivých krocích a pro postup do dalšího kroku je nutné splnit dané podmínky.

### Tvorba kódu

Byla vybrána možnost programovacího jazyka SCL (Structured Control Language). Jedná se o vyšší programovací jazyk založený na syntaxi jazyka Pascal. Strukturovaný řídicí jazyk je vhodný pro náročnější algoritmy nebo pro úkoly v oblasti správy dat. Program je tvořen příkazy, kterými mohou být například přiřazení hodnot a porovnání hodnot. Lze využít struktur pro podmínky (if), pro opakování smyčky (for, while) a pro stavový automat (case) [2].



Obrázek 4.10: Stavový diagram pro tester těsnosti světla

Program lze rozdělit do stavů:

- Uchopení a aretace světla
- Utěsnění světla
- Tlakování světla
- Posuv senzorů
- Vyhodnocení senzorů
- Návrat do výchozích pozic

Před začátkem každé části je podmínka, která zjišťuje zda, všechny prvky byly posunuty na dané pozice. Pokud je tato podmínka splněna, následuje další krok. V opačném případě program čeká na splnění. Po dokončení testování je navýšen počet otestovaných světla. Tento proces se neustále opakuje.

### Režim testování

Po vytvoření programu je vhodné jej otestovat na vytvořeném 3D modelu. Výhodou je, že okamžitě vidíme změny v programu na virtuálním zařízení. V této části můžeme postupovat jako v reálném světě. Je vhodné postupně začít spínáním tagů přes *watch tabulku* a poté použité funkční bloky v programu. Po ověření funkčnosti a bezchybném provozu včetně reakcí na poruchy následuje napojení na reálné zařízení.



## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo virtuální zprovoznění zadaného 3D modelu firmou Elvac a.s. s využitím softwaru Siemens NX modulu Mechatronics Concept Designer (MCD). Dále vytvoření řídicí aplikace pro programovatelný automat v softwaru TIA portál a následné propojení s využitím virtuálního PLC reprezentovaného softwarem PLCSIM Advanced.

V první kapitole jsem provedl vysvětlení pojmu digitálního dvojčete a jeho problematiku. Dále princip virtuálního zprovoznění, uvádění do provozu a teoretickou úsporu času při využití tohoto konceptu. Tato kapitola obsahuje i přehled vhodných softwarů pro virtuální zprovoznění, ovšem každý je specifický a nemusí být vhodný pro danou aplikaci.

Ve druhé kapitole jsem vyznačil základní orientaci v použitém softwaru a prvky, které jsem využil při zprovoznění. Jedná se o základní fyziku, kinematiku, senzory a signály pro základní porozumění softwaru.

Třetí kapitola je věnována analýze vybraného systému. Nejprve jsem popsal konstrukci daného stroje. Následně jsem popsal řízení modelu, kde jsem vysvětlil kroky, které chceme virtuálně zprovoznit.

V čtvrté části bakalářské práce jsem popsal realizaci virtuálního modelu. Ta se skládala z přehledu kroků, které je nutno vykonat pro zprovoznění a následná aplikace na model. Pro zpřehlednění celé aplikace jsem vytvořil tabulku, která obsahuje všechny prvky, které je nutné řídit. Vlastní realizace obsahuje přiřazení fyziky modelu, přiřazení kinematiky, pohonů, kterými bude spoj řízen. Aby bylo možné řízení prvků zjednodušit, vytvořil jsem expresní blok, který lze použít na všechny uvedené prvky kromě senzorů. Tento postup jsem aplikoval na všechny prvky, které jsou vypsány v uvedené tabulce. Vzhledem k tomu, že jsou svým způsobem všechny tyto prvky stejné, jsou v textu vypsány jen části, které jsou specifické pouze pro daný prvek. Dále jsem vysvětlil, princip vytvoření konfigurace v programovatelném automatu a jeho napojení na virtuální PLC. V další části jsem importoval signály z TIA portálu a následně je napojil na signály z MCD. V poslední části realizace, jsem vytvořil řídicí aplikaci, která jednoduchým způsobem testuje světlo a tento postup znovu opakuje.

Výsledkem této práce je virtuální zprovoznění poskytnuté úlohy včetně navržení řídicího programu pro PLC v TIA portálu.

Při zprovoznění byly odhaleny některé nedostatky pouze virtuální podoby. Hlavním nedostatkem je nemožnost simulovat chování v časovém měřítku 1:1. Toto lze zpřesnit využitím softwaru SIMIT. Tento nedostatek lze taky minimalizovat využitím výkonného hardwaru na který je MCD nainstalován. Dále lze tento čas zkrátit vypnutím nepotřebných vrstev modelu, které není potřeba simulovat a slouží pouze pro vizuální představu.

## Použitá literatura

- [1] NX Simulace a obrábění. *Http://www.rusinak.cz* [online]. [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <http://www.rusinak.cz/cz/produkty/nx-cam>
- [2] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC S7-1500: page 360, 820*. 2nd Edition. Germany: Publicis MCD, 2017. ISBN 9783895784606.
- [3] PARKINSON, Beth. Využití digitálního dvojčete a digitálního vlákna k vylepšení produktů a výrobních procesů. *Https://systemonline.cz* [online]. 2018, 26.10.2018 [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/zpravy/vyuziti-digitalniho-dvojce-a-digitalniho-vlakna-k-vylepseni-produktu-a-vyrobnich-procesu-z.htm>
- [4] NECHVÁTAL, Filip. *Digitální dvojče: od koncepčního návrhu po zprovoznění* [online]. In: Praha, 2016, s. 6 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: [http://www.aero-cluster.cz/sites/default/files/06.\\_digitalni\\_dvojce\\_filip\\_nechvatal.pdf](http://www.aero-cluster.cz/sites/default/files/06._digitalni_dvojce_filip_nechvatal.pdf)
- [5] Jak to funguje. *Https://virtualnivyroba.cz* [online]. [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://virtualnivyroba.cz/jak-to-funguje/>
- [6] Tecnomatix - plant simulation. *Https://www.axiomtech.cz* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-technomatix-plant-simulation>
- [7] Tecnomatix - process simulate robotics. *Https://www.axiomtech.cz* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25343-technomatix-process-simulate-robotics>
- [8] Rigid body. *Https://docs.plm.automation.siemens.com/* [online]. [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12/nx\\_help#uid:index\\_mechatronics:id1107702:xid896268:id1107707](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12/nx_help#uid:index_mechatronics:id1107702:xid896268:id1107707)
- [9] FANUC ROBOGUIDE *Simulation Software* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE>
- [10] ORIVE Darío. *Fault injection in Digital Twin as a means to test the response to process faults at virtual commissioning* [online]. 2019, page 5, [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8869334>

## **Přílohy**

- VI. Tabulka použitých tagů
- VII. Řídicí algoritmus v jazyce SCL
- VIII. Tabulka prvků z MCD
- IX. Obrázky z realizace
- X. Video

## VI. Tabulka použitých tagů:

Název	Datový typ	Adresa	Komentář
HP_vysuvny_snimac_atV	Bool	%I0.0	HP – výsuvný snímač
HP_vysuvny_snimac_atP	Bool	%I0.1	
HP_vysuvny_snimact_toV	Bool	%Q0.0	
HP_vysuvny_snimac_toP	Bool	%Q0.1	
HP_snimac_rameno_L_atV	Bool	%I0.2	HP – snímač rameno
HP_snimac_rameno_L_atP	Bool	%I0.3	
HP_snimac_rameno_L_toV	Bool	%Q0.2	
HP_snimac_rameno_L_toP	Bool	%Q0.3	
HP_ucpavaci_valec_atV	Bool	%I0.4	HP – ucpávací válec
HP_ucpavaci_valec_atP	Bool	%I0.5	
HP_ucpavaci_valec_toV	Bool	%Q0.4	
HP_ucpavaci_valec_toP	Bool	%Q0.5	
HP_valec_aretace_atV	Bool	%I0.6	HP – válec aretace
HP_valec_aretace_atP	Bool	%I0.7	
HP_valec_aretace_toV	Bool	%Q0.6	
HP_valec_aretace_toP	Bool	%Q0.7	
DP_tlakovani_atV	Bool	%I1.0	DP – tlakování
DP_tlakovani_atP	Bool	%I1.1	
DP_tlakovani_toV	Bool	%Q1.0	
DP_tlakovani_toP	Bool	%Q1.1	
DP_uchopeni_P_atV	Bool	%I1.2	DP – P – uchopení
DP_uchopeni_P_atP	Bool	%I1.3	
DP_uchopeni_P_toV	Bool	%Q1.2	
DP_uchopeni_P_toP	Bool	%Q1.3	
DP_uchopeni_L_atV	Bool	%I1.4	DP – L – uchopení
DP_uchopeni_L_atP	Bool	%I1.5	
DP_uchopeni_L_toV	Bool	%Q1.4	
DP_uchopeni_L_toP	Bool	%Q1.5	
DP_main_posuv_atV	Bool	%I1.6	DP – hlavní posuv
DP_main_posuv_atP	Bool	%I1.7	
DP_main_posuv_toV	Bool	%Q1.6	
DP_main_posuv_toP	Bool	%Q1.7	
DP_valec_R2_atV	Bool	%I2.0	DP – válec R2
DP_valec_R2_atP	Bool	%I2.1	
DP_valec_R2_toV	Bool	%Q2.0	
DP_valec_R2_toP	Bool	%Q2.1	
DP_valec_R1_atV	Bool	%I2.2	DP – válec R1
DP_valec_R1_atP	Bool	%I2.3	
DP_valec_R1_toV	Bool	%Q2.2	
DP_valec_R1_toP	Bool	%Q2.3	
DP_valec_L1_atV	Bool	%I2.4	DP – válec L1

DP_valec_L1_atP	Bool	%I2.5	
DP_valec_L1_toV	Bool	%Q2.4	
DP_valec_L1_toP	Bool	%Q2.5	
HP_L_vysuvny_senzor	Bool	%I2.6	Výsuvný senzor
HP_L_pritomnost_senzor	Bool	%I2.7	Senzor na ramenu
HP_P_pritomnost_senzor	Bool	%I3.0	Senzor vpravo I.
HP_P_pritomnost_stred_senzor	Bool	%I3.1	Senzor vpravo II.
Start_testovani	Bool	%M3.2	Tlačítko pro začátek testování
Pritomny_vsechny_spony	Bool	%M3.3	Přítomnost všech spon
Otestovane_svetla	Int	%MW4	Počet otestovaných světel
step_FB	Int	%MW7	Krok FB "Testování"

## VII. Řídicí algoritmus v jazyce SCL

```

CASE "step_FB" OF
0: // Spustení programu
  IF "Start_testovani" THEN
    "step_FB" := 1;
  ELSE
    "step_FB" := 0;
  END_IF;

1: // Nastavení výchozích pozic
  "DP_main_posuv_toP" := 1;
  // Všechny prvky do toV
  "HP_vysuvny_snimact_toV" := 1;
  "HP_snimac_rameno_L_toV" := 1;
  "HP_ucpavaci_valec_toV" := 1;
  "HP_valec_aretace_toV" := 1;
  "DP_tlakovani_toV" := 1;
  "DP_uchopeni_P_toV" := 1;
  "DP_uchopeni_L_toV" := 1;
  "DP_valec_R2_toV" := 1;
  "DP_valec_R1_toV" := 1;
  "DP_valec_L1_toV" := 1;

```

```
"step_FB" := 2;
```

```
2: // Overeni, zda jsou vsechny prvky na miste
```

```
IF "DP_main_posuv_atP" AND "HP_vysuvny_snimac_atV" AND  
"HP_snimac_rameno_L_atV"  
AND "HP_ucpavaci_valec_atV" AND "HP_valec_aretace_atV"  
AND "DP_tlakovani_atV" AND "DP_uchopeni_P_atV" AND  
"DP_uchopeni_L_atV" AND "DP_valec_R2_atV" AND  
"DP_valec_R1_atV" AND "DP_valec_L1_atV" THEN  
"step_FB" := 3;  
ELSE  
"step_FB" := 1;  
END_IF;
```

```
3: // 1. Uchopeni a aretace
```

```
"DP_uchopeni_L_toV" := 0;  
"DP_uchopeni_P_toV" := 0;  
"HP_valec_aretace_toV" := 0;  
  
"DP_uchopeni_L_toP" := 1;  
"DP_uchopeni_P_toP" := 1;  
"HP_valec_aretace_toP" := 1;  
"step_FB" := 4;
```

```
4: // Podminka, zda jsou prvky na pracovnich pozicich
```

```
IF "DP_uchopeni_L_atP" AND "DP_uchopeni_P_atP" AND  
"HP_valec_aretace_atP" THEN  
"step_FB" := 5;  
ELSE  
"step_FB" := 3;  
END_IF;
```

## 5: // 2. Utesneni svetla

// Vypnuti toV

"DP\_valec\_L1\_toV" := 0;

"DP\_valec\_R1\_toV" := 0;

"DP\_valec\_R2\_toV" := 0;

"DP\_tlakovani\_toV" := 0;

"HP\_ucpavaci\_valec\_toV" := 0;

// Zapnuti toP

"DP\_valec\_L1\_toP" := 1;

"DP\_valec\_R1\_toP" := 1;

"DP\_valec\_R2\_toP" := 1;

"DP\_tlakovani\_toP" := 1;

"HP\_ucpavaci\_valec\_toP" := 1;

"step\_FB" := 6;

## 6: // Overeni pracovnich pozic

IF "DP\_valec\_L1\_atP" AND "DP\_valec\_R1\_toP" AND

"DP\_valec\_R2\_atP" AND "DP\_tlakovani\_atP" AND

"HP\_ucpavaci\_valec\_atP" THEN

"step\_FB" := 7;

ELSE

"step\_FB" := 5;

END\_IF;

## 7: // 3. Posuv senzoru

// Nulovani toV

"HP\_vysuvny\_snimact\_toV" := 0;

"HP\_snimac\_rameno\_L\_toV" := 0;

// Aktivace toP

"HP\_vysuvny\_snimac\_toP" := 1;

```
"HP_snimac_rameno_L_toP" := 1;
```

```
"step_FB" := 8;
```

```
8: // Kontrola, zda vse probehlo
```

```
IF "HP_vysuvny_snimac_atP" AND "HP_snimac_rameno_L_atP"
```

```
THEN
```

```
    "step_FB" := 9;
```

```
ELSE
```

```
    "step_FB" := 7;
```

```
END_IF;
```

```
9: // 4. Testování sponek
```

```
IF "HP_L_Balluf_senzor" AND "HP_L_pritomnost_senzor" AND
```

```
    "HP_P_pritomnost_senzor" AND "HP_P_pritomnost_stred_senzor" THEN
```

```
    "Pritomny_vsechny_spony" := 1;
```

```
    "step_FB" := 10;
```

```
ELSE
```

```
    "Pritomny_vsechny_spony" := 0;
```

```
    "step_FB" := 10;
```

```
END_IF;
```

```
10: // Navrat na vychozi pozice
```

```
    // Vypnutí všech toP
```

```
    "DP_main_posuv_toP" := 0;
```

```
    // 1.
```

```
    "DP_uchopeni_L_toP" := 0;
```

```
    "DP_uchopeni_P_toP" := 0;
```

```
    "HP_valec_aretace_toP" := 0;
```

```
    // 2.
```

```
    "DP_valec_L1_toP" := 0;
```

```
    "DP_valec_R1_toP" := 0;
```

```
    "DP_valec_R2_toP" := 0;
```



```
"DP_tlakovani_toP" := 0;
"HP_ucpavaci_valec_toP" := 0;
// 3.
"HP_vysuvny_snimac_toP" := 0;
"HP_snimac_rameno_L_toP" := 0;
```

```
// Navrat do vychozich pozic nastavenim toV
```

```
"DP_main_posuv_toV" := 1;
"HP_vysuvny_snimact_toV" := 1;
"HP_snimac_rameno_L_toV" := 1;
"HP_ucpavaci_valec_toV" := 1;
"HP_valec_aretace_toV" := 1;
"DP_tlakovani_toV" := 1;
"DP_uchopeni_P_toV" := 1;
"DP_uchopeni_L_toV" := 1;
"DP_valec_R2_toV" := 1;
"DP_valec_R1_toV" := 1;
"DP_valec_L1_toV" := 1;
"step_FB" := 11;
```

```
11: // Overeni, zda je vse vypnuto
```

```
IF "DP_main_posuv_atV" AND "HP_vysuvny_snimac_atV" AND
"HP_snimac_rameno_L_atV"
AND "HP_ucpavaci_valec_atV" AND "HP_valec_aretace_atV"
AND "DP_tlakovani_atV" AND "DP_uchopeni_P_atV" AND
"DP_uchopeni_L_atV" AND "DP_valec_R2_atV" AND
"DP_valec_R1_atV" AND "DP_valec_L1_atV" THEN
"step_FB" := 12;
ELSE
"step_FB" := 10;
END_IF;
```

12: // Nulovani DP\_main\_posuvu

"DP\_main\_posuv\_toV" := 0;

"step\_FB" := 13;

"Otestovane\_svetla" := "Otestovane\_svetla" + 1;

13: // Az je DP\_main\_posuv na vychozi pozici, opakuj proces

IF "DP\_main\_posuv\_atV" THEN

"step\_FB" := 0;

END\_IF;

END\_CASE;

## VIII. Tabulka prvků z MCD:

Název	Typ
DP_valec_L1	
Valec_L1	Řízení umístění
valec_L1_valec_and_base	Kluzný spoj
valecL1_BASE_RB	Nedeformovatelné těleso
valecL1_BASE_RB_AIR_FIX	Pevný spoj
valecL1_BLOCK	Blok výrazu
valecL1_valec_RB	Nedeformovatelné těleso
DP_valec_R1	
Valec_R1	Řízení umístění
Valec_R1	Blok výrazu
valecR1_BASE_AIR_FIX	Pevný spoj
valecR1_BASE_RB	Nedeformovatelné těleso
valecR1_VALEC_RB	Nedeformovatelné těleso
valecR1_VALEC_RB_and_BASE	Kluzný spoj
DP_valec_R2	
Valec_R2	Řízení umístění
Valec_R2	Blok výrazu
valec_R2_VALEC_and_HP_base	Pevný spoj
valecR2_BASE_RB	Nedeformovatelné těleso
valecR2_VALEC_and_BASE	Kluzný spoj
valecR2_VALEC_RB	Nedeformovatelné těleso
DP_main_posuv	
DP_main_posuv_EB	Blok výrazu
DP_main_posuv_PC	Řízení umístění
DP_main_posuv_prip_ravek_and_zeleny_ram	Pevný spoj
DP_prip_ravek_spodni	Nedeformovatelné těleso
DP_valec_posuv_base_AIR	Pevný spoj
DP_valec_posuv_base_RB	Nedeformovatelné těleso
DP_Zeleny_ram	Nedeformovatelné těleso
DP_Zeleny_ram_and_posuv_base	Kluzný spoj
Koleje_pro_posuv_AIR	Pevný spoj
Koleje_pro_posuv_RB	Nedeformovatelné těleso
DP_uchopeni_L	
DP_uchopeni_L	Blok výrazu
DP_uchopeni_L_valec_fixace_and_DP	Pevný spoj
DP_valec_L	Řízení umístění
DP_Valce_L	
DP_valce_L_fixace_pist_and_fixace_base	Kluzný spoj
DP_valec_L_fixace_base_and_fixace_base	Spoj otočení
DP_valec_L_fixace_packa_and_fixace_base	Spoj otočení
DP_valec_L_fixace_pist_and_fixace_packa	Spoj otočení
valec_fixace_base_RB_2	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_base2_RB_2	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_packa_RB_2	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_pist_RB_2	Nedeformovatelné těleso
DP_uchopeni_P	
DP_uchopeni_P	Blok výrazu
DP_uchopeni_P_fixace_base_and_DP	Pevný spoj
DP_valec_R_PC	Řízení umístění
DP_valec_R	
DP_valec_R_fixace_base_and_fixace_base	Spoj otočení
DP_valec_R_fixace_packa_and_fixace_base	Spoj otočení
DP_valec_R_fixace_pist_and_fixace_base	Kluzný spoj
DP_valec_R_fixace_pist_and_fixace_packa	Spoj otočení
valec_fixace_base_RB_1	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_base2_RB_1	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_packa_RB_1	Nedeformovatelné těleso
valec_fixace_pist_RB_1	Nedeformovatelné těleso

<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>DP_tlakovani</li> <li>DP_tlakovani</li> <li>DP_tlakovani_base_RB</li> <li>DP_tlakovani_DP_tlakovani_and_tlakovani_base</li> <li>DP_tlakovani_PC</li> <li>DP_tlakovani_RB</li> <li>DP_tlakovani_tlakovani_base_and_DP</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blok výrazu</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Kluzný spoj</li> <li>Řízení umístění</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Pevný spoj</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>HP_vysuvny_snimac</li> <li>HP_vysuvny_snimac</li> <li>HP_vysuvny_snimac</li> <li>HP_vysuvny_snimac_Balluf_and_Balluf_FIXED</li> <li>HP_vysuvny_snimac_FIXED_and_HP</li> <li>HP_vysuvny_snimac_SNIMAC_and_BALLUF</li> <li>Vysuv_BALLUF_FIXED_RB</li> <li>Vysuv_BALLUF_RB</li> <li>Vysuv_BALLUF_SNIMAC_RB</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Řízení umístění</li> <li>Blok výrazu</li> <li>Kluzný spoj</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>HP_snimac_rameno_L</li> <li>HP_base</li> <li>HP_BASE_FIX_kostra</li> <li>HP_kloub</li> <li>HP_kloub_rameno</li> <li>HP_kloub_rameno_PC</li> <li>HP_konstrukce_rameno_L</li> <li>HP_pistnice</li> <li>HP_snimac_rameno_L_kloub_and_base</li> <li>HP_snimac_rameno_L_pistnice_and_kloub</li> <li>HP_snimac_rameno_L_rameno_and_base</li> <li>HP_snimac_rameno_L_valec</li> <li>HP_snimac_rameno_L_valec_and_konstrukce</li> <li>HP_snimac_rameno_valec_and_pistnice</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Blok výrazu</li> <li>Řízení umístění</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Spoj otočení</li> <li>Spoj otočení</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Kluzný spoj</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>HP_Ucpavaci_valec</li> <li>HP_ucpavaci_valec</li> <li>HP_ucpavaci_valec</li> <li>HP_ucpavaci_valec_pistnice_and_base</li> <li>HP_ucpavaci_valec_valec_and_HP</li> <li>Ucpavaci_valec_base_RB</li> <li>ucpavaci_valec_pistnice</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Řízení umístění</li> <li>Blok výrazu</li> <li>Kluzný spoj</li> <li>Pevný spoj</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>HP_Valec_aretace</li> <li>HP_valec_aretace</li> <li>HP_Valec_aretace</li> <li>HP_valec_aretace_pistnice_and_AIR</li> <li>HP_valec_aretace_zobacek_and_HP</li> <li>HP_valec_aretace_zobacek_and_pistnice</li> <li>Valec_aretace_pistnice</li> <li>Zobacek L</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Řízení umístění</li> <li>Blok výrazu</li> <li>Kluzný spoj</li> <li>Spoj otočení</li> <li>Spoj otočení</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> <li>Nedeformovatelné těleso</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>☐ Svetlomet             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Svetlomet_okraje</li> <li>☑ Svetlomet_okraje_AIR</li> <li>☑ Svetlomet_RB_1</li> <li>☑ Svetlomet_RB_AIR</li> </ul> </li> <li>☐ HP_L_vysuvne_senzor             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ HP_L_balluf_cidlo</li> <li>☑ HP_sponka_AIR</li> <li>☑ HP_sponka_RB</li> </ul> </li> <li>☐ HP_P_pritomnost_senzor             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ HP_P_pritomnost_senzor</li> <li>☑ HP_sponka_P_AIR</li> <li>☑ HP_sponka_P_pritomnost</li> </ul> </li> <li>☐ HP_P_pritomnost_stred_senzor             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ HP_P_pritomnost_stred_senzor</li> <li>☑ HP_P_pritomnost_stred_sponka</li> <li>☑ HP_P_pritomnost_stred_sponka_RB</li> </ul> </li> <li>☐ HP_L_pritomnost_senzor             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ HP_L_pritomnost_senzor</li> <li>☑ HP_L_pritomnost_sponka</li> <li>☑ HP_L_pritomnost_sponka</li> </ul> </li> <li>☐ PLC             <ul style="list-style-type: none"> <li>☑ MCD NX</li> </ul> </li> </ul>	<p>Nedeformovatelné těleso</p> <p>Pevný spoj</p> <p>Nedeformovatelné těleso</p> <p>Pevný spoj</p> <p>Senzor kolize</p> <p>Pevný spoj</p> <p>Nedeformovatelné těleso</p> <p>Senzor kolize</p> <p>Pevný spoj</p> <p>Nedeformovatelné těleso</p> <p>Senzor kolize</p> <p>Pevný spoj</p> <p>Nedeformovatelné těleso</p>
---	---